

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA
Institut environmentálního inženýrství

Imisní zátěž lesních půd v Moravskoslezských Beskydech

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Pavel Kantor
Vedoucí práce: prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

2015

VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY
Institute of environmental engineering

Immission loads of forest soils in Beskydy Mts.

BACHELOR'S THESIS

Author: Pavel Kantor
Supervisor: prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

2015

Zadání bakalářské práce

Student:

Pavel Kantor

Studijní program:

B2102 Nerostné suroviny

Studijní obor:

3904R005 Environmentální inženýrství

Téma:

Imisní zátěž lesních půd v Moravskoslezských Beskydech
Immission loads of forest soil in Beskydy Mts.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Charakteristika oblasti
 - Vymezení oblasti (klimatické podmínky, geologie a geomorfologie, pedologie)
 - Imisní zátěž oblasti
4. Těžké kovy v lesních půdách
5. Statistické zhodnocení koncentrace těžkých kovů v půdách Beskyd
5. Závislost mezi nadmořskou výškou a obsahem těžkých kovů v půdách
6. Vyhodnocení a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

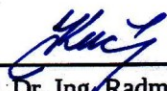
- Alloway B.J. (2012): Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability (Environmental Pollution). Springer Verlag. ISBN 9400744692.
- Groenenberg, J.E.; Römkens, P.F.A.M.; Comans, R.N.J.; Luster, J.; Pampura, T.; Shotbolt, L.; Tipping, E.; De Vries, W. 2010. Transferfunctions for solid solution partitioning of cadmium, copper, nickel, lead and zinc in soils: Derivation of Relations for free metal ion activities and validation on independent data. Eur. J. Soil Sci. 61: 58-73.
- ČSN EN ISO 19258:2005, Kvalita půdy - Návod pro stanovení hodnot pozadí. In: Úřad pro technickou normlizaci, metrologii a státní zkušebnictví, leden 2012.
- Geochemical Atlas of Europe, version 2, EuroGeoSurveys. The Association of Geological Surveys of the European Union. Brussels, Belgium. www.eurogeosurveys.org.
- Hauptman I., Kukul Z., Pošmourný K. (2009): Půda v České republice. MŽP ČR, Finidr Český Těšín, ISBN 80-903482-4-6. 1-255.
- Hernandez L., Probst A., Probst J.L., Ulrich E. (2003): Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination. Sci Total Environ. 312, 195-219.
- Fay D., Kramers G., Zhnag C., McGrath D., Grennan E. (2007): Soil Geochemical Atlas of Ireland. Teagasc and the Environmental Protection Agency Dublin. 1-119.
- Kozák J. et al. (2009): Atlas půd České republiky. ČZU Praha., 1-140.
- Matýsek D., Raclavská H., Raclavský K. (2008): Correlation between magnetic susceptibility and heavy metal concentrations in forest soils of the eastern Czech Republic. Journal of Environmental & Engineering Geophysics, Vol. 13, No. 1, 13-26. ISSN 1083-1363.
- Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2012. Praha: ČHMÚ 2013. ISBN 978-80-87577-20-2. 1-274.
- <http://www.forestry.gov.uk/fr/INFD-62VDNC>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 30.04.2015


doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová
vedoucí institutu




prof. Ing. Vojtech Dimer, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

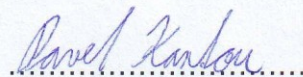
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30. 4. 2015



Pavel Kantor

Poděkování:

Na tomto místě bych srdečně rád poděkoval paní prof. Ing. Heleně Raclavské, CSc., za svědomité vedení mé bakalářské práce a za poskytnutí mnoha cenných rad. Také bych chtěl poděkovat Bc. Janě Sýkorové za pomoc při výzkumu v laboratoři. Dále bych rád poděkoval svým rodičům, kteří mi studium na vysoké škole umožnili a plně mě v něm podporovali.

ABSTRAKT

Předložená práce pojednává o měření imisní zátěže humusového horizontu lesních půd v oblasti Javorového vrchu a Ostrého. Byly zkoumány vzorky lesních půd odebraných v části Moravskoslezských Beskyd nacházející se v oblasti s vysokou koncentrací těžkého průmyslu. Byly zjišťovány hodnoty koncentrace jednotlivých prvků: As, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn. Následně byly tyto hodnoty porovnány se všemi dříve naměřenými hodnotami v Moravskoslezských Beskydech. Byly zjištěny hodnoty magnetické susceptibility v oblasti a rovněž byla zjištěna závislost koncentrací zkoumaných prvků na nadmořské výšce.

Klíčová slova: Moravskoslezské Beskydy, lesní půdy, těžké kovy, magnetická susceptibilita, imisní zátěž

ABSTRACT

This thesis deals with the measurement of pollution loads of humus horizon of forest soils in area of Javorovy and Ostry in Beskydy Mountains. The samples of forest soils taken in Beskydy Mountains, which are located in an area with a large concentration of heavy industry, were examined. Were measured concentration values of individual elements: As, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn. Then, these values were compared with all the measured values in Beskydy Mountains. After that, all the samples, taken in the area, were measured by using a magnetic susceptibility. Also was found dependence of concentrations of the elements on the altitude.

Keywords: Beskydy Mountains, forest soils, heavy metals, magnetic susceptibility, immision loads

SEZNAM ZKRATEK

AMS – Automatická meteorologická stanice

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČSN – Česká státní norma

ISKO – Integrovaný systém kontroly ovzduší

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

OZKO – Oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší

PM_{2,5} – prachové částice o velikosti 2,5 mikrometrů

PM₁₀ – prachové částice o velikosti 10 mikrometrů

OBSAH

ÚVOD A CÍL PRÁCE.....	1
1 CHARAKTERISTIKA OBLASTI.....	2
1.1 Klimatické podmínky.....	3
1.2 Geologie a geomorfologie oblasti.....	5
1.3 Pedologie.....	7
2 IMISNÍ ZÁTĚŽ OBLASTI.....	8
2.1 Imisní monitoring.....	9
2.2 Měření imisí na území Třince.....	9
3 TĚŽKÉ KOVY.....	12
3.1 Těžké kovy a metaloidy v půdách.....	12
3.1.1 Arsen.....	12
3.1.2 Měď.....	13
3.1.3 Chrom.....	14
3.1.4 Železo.....	15
3.1.5 Mangan.....	16
3.1.6 Nikl.....	17
3.1.7 Olovo.....	17
3.1.8 Zinek.....	18
4 ODBĚR A ANALÝZA VZORKŮ.....	19
4.1 Stanovení pH.....	21
4.2 Zhodnocení koncentrace těžkých kovů v půdách.....	22
4.2.1 Příprava vzorku.....	23
4.2.2 Výsledky měření RTG-fluorescenční analýzy.....	23
4.3 Magnetická susceptibilita.....	25
5 ZÁVISLOST MEZI NADMOŘSKOU VÝŠKOU A OBSAHEM TĚŽKÝCH KOVŮ V PŮDĚ.....	28
6 ZHODNOCENÍ KONCENTRACE TĚŽKÝCH KOVŮ V PŮDÁCH BESKYD.....	33
7 ZÁVĚR.....	38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	40
INTERNETOVÉ STRÁNKY.....	42

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	44
SEZNAM TABULEK	45

ÚVOD A CÍL PRÁCE

Půda tvoří významnou složku lesních ekosystémů, která má vliv na stabilitu a produkci. Je produktem přeměn minerálních a organických látek a poskytuje životní prostředí rostlinám, živočichům a člověku.

Oblast Moravskoslezských Beskyd je nejen silně zatížená těžkým průmyslem, ale i dopravou. Jedná se o lokalitu s vysokým vlivem velkých průmyslových zdrojů. V blízkosti se nachází Třinecké železářny, které vlastní také několik dceřiných podniků. Vliv na zkoumanou lokalitu ale nemají pouze zdroje z Česka. Polské zdroje produkují více emisí, které jsou velmi koncentrované přenášeny do Česka při převážně zhoršených rozptylových podmínkách.

Pro takto zatíženou oblast je typický zvýšený obsah rizikových prvků. Dlouhodobě nejzávažnějším problémem je nadlimitní vysoká úroveň koncentrací částic antropogenního původu PM_{10} a $PM_{2,5}$.

Cílem práce je zjištění imisní zátěže humusového horizontu lesních půd v oblasti Javorového vrchu a Ostrého. Pro dosažení cíle práce byl zvolen následující postup:

- Liniový odběr vzorků v SZ, SV, JV s krokem 100 m n. m. v oblasti Javorového a Ostrého
- Chemické analýza humusového horizontu lesních půd a stanovení magnetické susceptibility
- Statistické zhodnocení získaných dat

1 CHARAKTERISTIKA OBLASTI

Třinec je město v okrese Frýdek-Místek v Moravskoslezském kraji, 32 km jihovýchodně od Ostravy na řece Olši na území historického Těšínského Slezska. V roce 2011 zde žilo 37 tisíc obyvatel, má rozlohu 8 541 ha, centrum je v nadmořské výšce 306 m n. m, nejvyšší bod dosahuje téměř 1000 m n. m. Podle správního členění patří do Moravskoslezského kraje, okres Frýdek-Místek. První písemná zmínka o městě pochází teprve z 15. století. Město Třinec je významným průmyslovým a společenským centrem regionu, na jehož území sídlí jeden z největších hutních podniků v České republice, Třinecké železářny (WAWRECZKA, 1997; www.trinecko.cz).

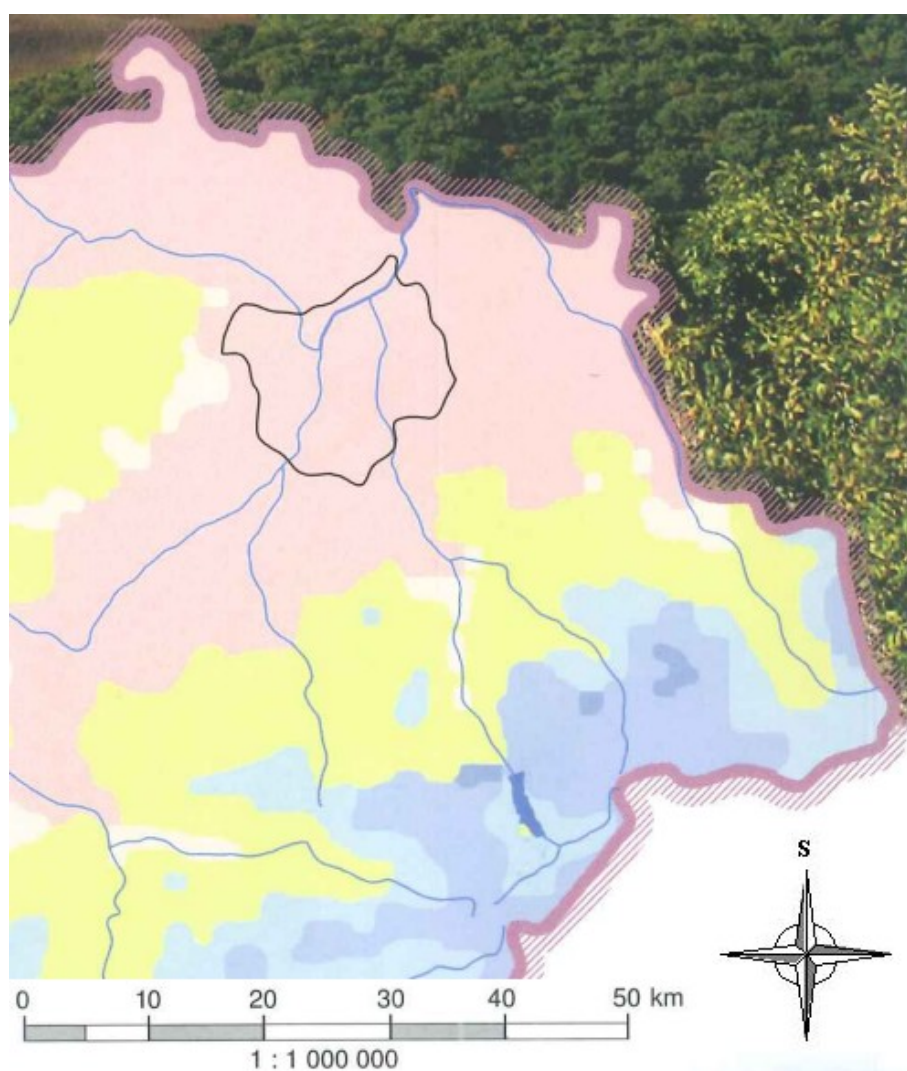
V okolí Třince se nacházejí Moravskoslezské Beskydy a směrem na východ nižší Slezské Beskydy. Tato dvě karpatská pohoří jsou od sebe navzájem oddělena Jablunkovskou brázdou, jejíž osu tvoří řeka Olše, která Třincem protéká. Město Třinec je obklopeno horami jako je Javorový, Ostrý a Čantorye (www.trinecko.cz).



Obrázek 1: Mapa Třince a okolí (www.google.cz/maps)

1.1 Klimatické podmínky

U vyhodnocování klimatických poměrů naší oblasti jsem vycházel z klasifikace klimatických podmínek podle Quitta, která se nachází v Atlasu podnebí Česka (TOLASZ, 2007). Vymezené území se nachází v chladné (C7, C6 a C5), až mírně teplé oblasti (MW1). Celá oblast je vykreslena na obrázku č. 2 a podrobnější hodnoty této oblasti jsou uvedeny v tabulce č. 1 (C7, C6-tmavě modrá, C5-modrá, MW1-světle modrá).



Obrázek 2: Část mapy klimatologických podmínek (TOLASZ, 2007)

Tabulka č. 1: Charakteristika klimatických oblastí C5, C6, C7 a MW1 (TOLASZ, 2007)

Charakteristické vlastnosti oblasti	oblast C5	oblast C6	oblast C7	oblast MW1
Počet letních dní	10 – 30	10 – 30	10 – 30	20 – 30
Počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více	100 – 120	120 – 140	120 – 140	120 – 140
Počet dní s mrazem	140 – 160	140 – 160	140 – 160	160 – 180
Počet ledových dní	60 – 70	60 – 70	50 – 60	40 – 50
Průměrná lednová teplota ve °C	-5 až -6	-4 až -5	-3 až -4	-5 až -6
Průměrná červencová teplota ve °C	14 – 15	14 – 15	15 – 16	15 – 16
Průměrná dubnová teplota ve °C	2 – 4	2 – 4	4 – 6	5 – 6
Průměrná říjnová teplota ve °C	5 – 6	5 – 6	6 – 7	6 – 7
průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více	120 – 140	140 – 160	120 – 130	120 – 130
Suma srážek ve vegetačním období v mm	500 – 600	600 – 700	500 – 600	500 – 600
Suma srážek v zimním období v mm	350 – 400	400 – 500	350 – 400	300 – 350
Počet dní se sněhovou pokrývkou	120 – 140	120 – 140	100 – 120	100 – 120
Počet zatažených dní	140 – 150	150 – 160	150 – 160	120 – 150
Počet jasných dní	30 – 40	40 – 50	40 – 50	40 – 50

Naši mírně teplou oblast (MW1) můžeme charakterizovat jako nejchladnější a nejvlhčí z mírně teplých oblastí. Krátké léto, mírné až mírně chladné, mírně vlhké, přechodné období krátké s mírným jarem a mírným podzimem. Zima je normálně dlouhá s mírnými teplotami, suchá a normálně dlouhou sněhovou pokrývkou. Pro chladnou oblast (C7, C6, C5) je charakteristické velmi krátké až krátké léto a mírně chladné a vlhké. Přechodné období je dlouhé, mírně chladné jaro a mírný podzim. Zima je dlouhá, mírná, mírně vlhká s dlouhou sněhovou pokrývkou (QUITT, 1971).

Větrné podmínky oblasti jsou definovány směrem větru a jeho procentuální četností uvedené v příložených tabulkách č. 2 a č. 3. Vzorky jsem odebral v okolí obou měřicích stanic města Třince, proto jsem uvedl data z obou měřicích stanic. Automatická monitorovací stanice čistoty ovzduší a meteorologie Třinec-Kosmos se nachází v centru města a automatická monitorovací Stanice čistoty ovzduší a meteorologie Třinec-Kanada je umístěná v lokalitě nad Železárnami. Data v obou tabulkách byla pořízena za rok 2010.

Tabulka č. 2: Hodnoty větrné růžice – Třinec Kosmos (www.chmi.cz)

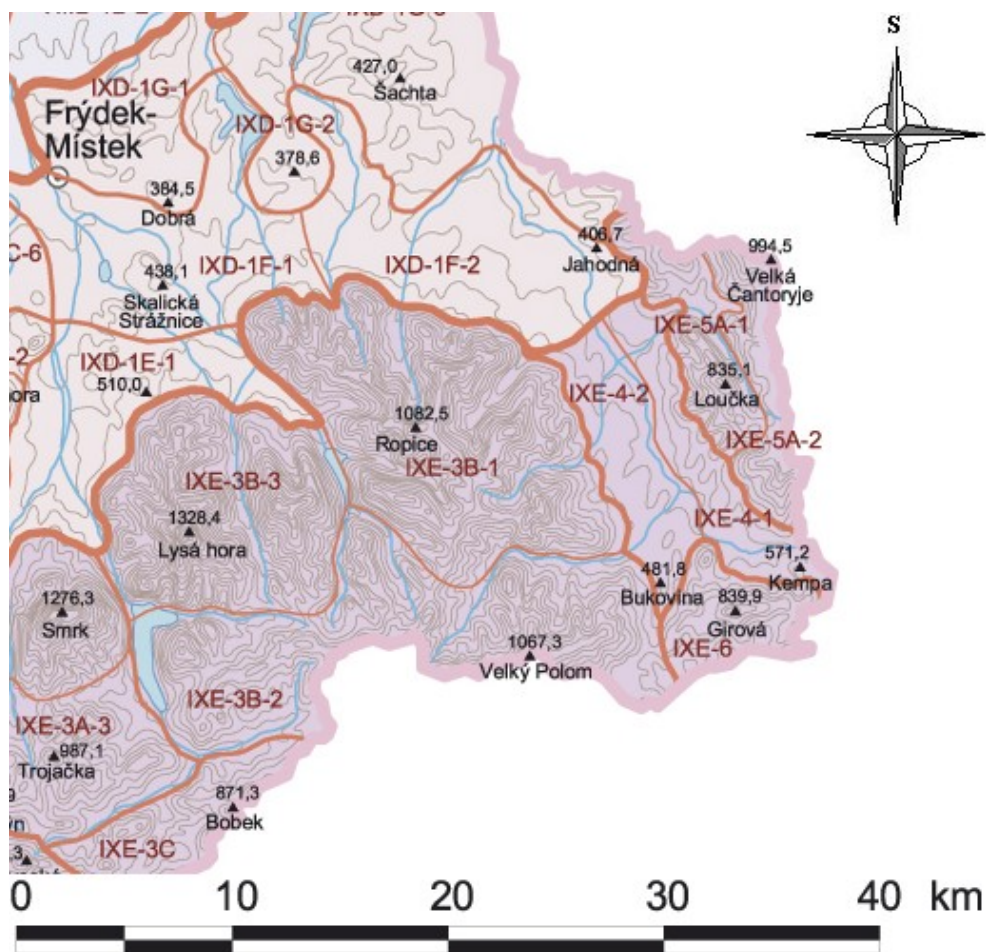
směr větru	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Bezvětří
četnost ze směru (%)	7,39	0,22	1,51	46,8	3,75	3,62	9,74	26,78	0,19

Tabulka č. 3: Hodnoty větrné růžice – Třinec Kanada (www.chmi.cz)

směr větru	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Bezvětří
četnost ze směru (%)	4,63	2,96	11,47	28,86	8,62	12,38	17,19	13,03	0,86

1.2 Geologie a geomorfologie oblasti

Při zařazování zkoumané oblasti, nacházející v okolí města Třinec jsem vycházel z klasifikace podle J. DEMKA (2006). Daná oblast se nachází v provincii Západní Karpaty, přesněji v okrsku Ropická rozsocha, která má na mapě geomorfologických jednotek (obrázek č. 3) označení IXE- 3B- 1.



Obrázek 3: Část mapy geomorfologických jednotek ČR (DEMEK, 2006)

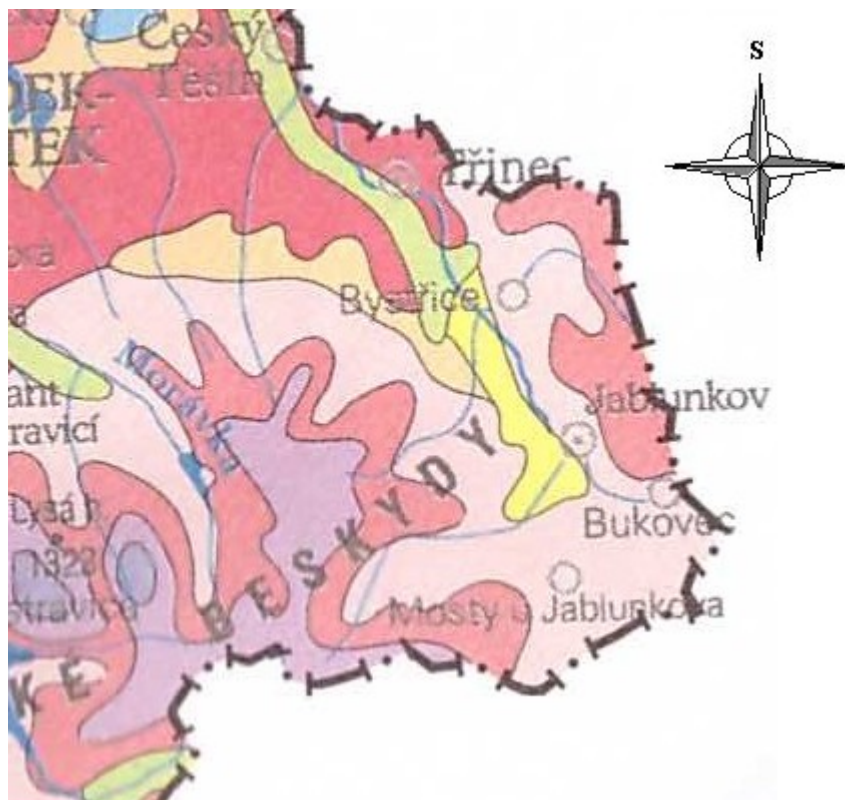
Ropická rozsocha leží v severovýchodní části Lysohorské hornatiny. Osu Ropické rozsochy tvoří hřbet táhnoucí se od Malé Prašivé (706 m) k okolí obce Dolní Lomná a vrcholící Ropicí (1083 m). Na rozsochách je pak několik dalších kót přesahujících 1000 m. V náhorních polohách hřbetů s místy zachovaly zbytky strukturně-denudačních a erozně-denudačních plošin. Východní ohraničení Ropické rozsochy tvoří zlomový svah nad Jablunkovskou brázdou. Charakteristický je strukturní, erozně-denudační, zřetelně izoklinální reliéf se sečnými plošinami, suky (tvrdoši) na odolnějších vrstvách pískovců a slepenců, četné jsou tvary způsobené periglaciálními procesy – např. mrazové sruby, balvanové proudy a strukturní terasy a stupně. Hojné jsou sesuvy. Nejvyšším bodem je Ropice (1083 m), významnými body jsou Javorový (1031 m), Ostrý (1044 m), Slavič (1054 m) a Kalužný (993 m) (www.moravske-karpaty.cz).

Ropická rozsocha je členitá hornatina budovaná silně zvrásněnými flyšovými horninami godulského vývoje při denudačním okraji *godulské digitace* příkrovu slezské jednotky. Jižní část oblasti, zejména hřbetní polohy Polky (885 m), Slaviče (1054 m), Kalužného (993 m), Smrčiny (1014 m) a Ostrého (1044 m) buduje drobně rytmický, převážně písčité flyš svrchních godulských vrstev godulského souvrství. Střední část oblasti, zejména hřbetní polohy rozsochy Ropice (1 082 m) směrem k Prašivé (843 m) a k Javorovému (1031 m) buduje hrubě rytmický flyš s glaukonitickými pískovci středních godulských vrstev godulského souvrství. Střední a nižší polohy v severní části oblasti na čele slezského příkrovu buduje drobně a středně rytmický flyš spodních godulských vrstev godulského souvrství. Při sev.–záp. a sev. úpatí hornatiny se vyskytují horniny mazáckého souvrství godulského vývoje s ostravickými pískovci. Nad Jablunkovskou brázdou vystupují v úzkém pruhu horniny istebňanského souvrství. Podsvahové polohy budují hlinité a písčitohlinité deluviální a proluviální sedimenty. Údolní nivy a dna suchých údolí jsou vyplněny deluviofluviálními a fluviálními sedimenty (www.moravske-karpaty.cz).

Ropická rozsocha leží v 5–6. vegetačním stupni. Mimo údolní polohy je zcela zalesněná převážně smrkovými, uměle založenými porosty s vtroušeným bukem a jedlí. Místy se vyskytují ještě přirozené jedlobučiny. Předmětem ochrany přírody jsou přírodě blízké bukové porosty karpatského typu vyšších poloh Moravskoslezských Beskyd v PP Černavina. Oblast leží v CHKO Beskydy a v EVL Beskydy a PO Beskydy v rámci soustavy Natura 2000 (www.moravske-karpaty.cz).





1.3 Pedologie

Podle části půdní mapy ČR (obrázek č. 4), se ve zkoumané části v oblasti okolí Třinecka nacházejí níže popsané půdní typy.



Obrázek 4: Část půdní mapy ČR v měřítku 1:1 000 000 (TOMÁŠEK, 2007)

Legenda:

-  - Hnědé půdy se surovými půdami
-  - Hnědé půdy kyselé
-  - Hnědé půdy silně kyselé
-  - Rezivé půdy s podzoly

Z části půdní mapy vyplývá, že naše zkoumaná oblast v okolí Třinecka je tvořena převážně hnědými půdami. **Hnědá půda** neboli Kambizem je na našem území nejrozšířenějším půdním typem. Uplatňují se jak v pahorkatinách a vrchovinách, tak i v horách, málo jsou zastoupeny jen v nížinách. Původní vegetací byly listnaté lesy. Jako

matečný substrát se uplatňují téměř všechny horniny skalního podkladu (žuly, ruly, svory, fylity, čediče, pískovce, břidlice, odvápněné „opuky“ a mnohé jiné) (TOMÁŠEK, 2007).

Hlavním půdotvorným pochodem při vzniku hnědých půd je intenzivní vnitropůdní zvětrávání. Jde o vývojově mladé půdy, které by v méně členitých terénních podmínkách přešly v jiný půdní typ- hnědozem, illimerizovanou půdu, podzol apod. (TOMÁŠEK, 2007).

Hnědá půda kyselá má nižší obsah humusu ale nápadný pokles půdní reakce s nízkým nasycením sorpčního komplexu, nejčastěji se s ní setkáváme mezi 400 až 600 m n. m (TOMÁŠEK, 2007).

Hnědá půda silně kyselá je morfologicky podobná předcházející, půdní reakce je již silně kyselá, sorpční komplex extrémně nasycen, nejhojnější výskyt nad 600 m n. m (TOMÁŠEK, 2007).

Rezivé půdy, jinak označovány Kryptopodzoly se vyskytují především ve vyšších polohách, nejčastěji nad 800 m n. m, někdy i níže. Rezivé půdy vznikaly převážně pod kyselými horskými bučinami, případně smrčinami, v chladném a vlhkém klimatu. Jako půdotvorný substrát se uplatňují hlavně zvětralin y kyselých hornin, zejména vyvřelin a metamorfik, ale i sedimentů (pískovců, slepenců). Reliéf je nejčastěji svažité, horský.

Hlavním půdotvorným pochodem při tvorbě rezivých půd je intenzivní vnitropůdní zvětrávání, doprovázené výrazným uvolňováním seskvioxidů (Fe, Al). Jako lesní půdy, mívají rezivé půdy obvykle vysokou produktivitu (TOMÁŠEK, 2007).

2 IMISNÍ ZÁTĚŽ OBLASTI

Imise jsou přízemní koncentrace látek, mezi které patří: oxid uhličitý, oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxidy některých aromatických uhlovodíků a suspendované částice (TSP/SPM, PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁). Do prostředí se dostávají někdy i ze vzdálených zdrojů znečištění ovzduší (www.cez.cz).

Dlouhodobě nejzávažnějším problémem v naší oblasti je nadlimitně vysoká úroveň koncentrací částic antropogenního původu PM₁₀ a PM_{2,5}. Největší zdravotní riziko představuje několikanásobné překračování cílové limitní hodnoty benzo[a]pyrenu. Na české straně patří k nejvíce znečištěným zejména lokality s vysokým vlivem velkých

průmyslových zdrojů, nicméně podíl ostatních typů zdrojů s nízkou emisí není zanedbatelný; mimo hlavní průmyslové oblasti tvoří lokální topeniště a doprava i více než polovinu znečištění PM₁₀ ve srovnání s ostatními zdroji. Větry vanou častěji z Česka do Polska; polské zdroje však produkují více emisí PM₁₀, které jsou velmi koncentrované přenášeny do Česka při převážně zhoršených rozptylových podmínkách a proto je vliv českých zdrojů v Polsku a polských v Česku na koncentrace PM₁₀ srovnatelný.

Nejvyšší koncentrace škodlivin jsou měřeny při bezvětří či nízkých rychlostech větru a při inverzním vertikálním teplotním zvrstvení; výjimečně vysoké koncentrace jsou způsobeny dlouhotrvajícími inverzními situacemi v celé oblasti v zimním období, tj. v prosinci až únoru; rozdíly mezi průměrnými ročními koncentracemi škodlivin v různých letech jsou velké a závisí na meteorologických podmínkách zejména v chladné polovině roku (AIR-SILESIA, 2013).

2.1 Imisní monitoring

V rámci Imisního monitoringu (IM) jsou analyzovány v ovzduší nejrozumnější látky - v plynech, srážkových vodách a aerosolových částicích. Jejich měření probíhá buď přímo (on-line, automatizovaný imisní monitoring) anebo po vzorkování dodatečně v našich laboratořích (manuální imisní monitoring). Používané analytické metody jsou: atomová a molekulová absorpční a emisní spektrometrie, hmotnostní spektrometrie, iontová a plynová chromatografie, gravimetrie, elektrická konduktometrie a pH-metrie (www.chmi.cz).

2.2 Měření imisí na území Třince

Měření imisí v oblasti Třince probíhá ve dvou automatizovaných monitorovacích stanicích. První stanice (Třinec-Kosmos), je umístěna na volném prostranství sídlištního centra a sleduje koncentrace SO₂, NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀, PM_{2,5} a benzenu. Druhá stanice (Třinec-Kanada), která je umístěna v obytné části města, v zástavbě rodinných domků, sleduje koncentrace NO, NO₂, NO_x, PM₁₀ a BZN.

Tabulka č. 4: Průměrné roční imise na území Třince za rok 2013 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (ČHMÚ-
ISKO)

Lokalita	NO	NO ₂	NO _x	PM _{2,5}	PM ₁₀	O ₃	benzen
Třinec-Kosmos	-	-	-	30,6	38,3	49,5	2,3
Třinec-Kanada	3,8	18,4	24,1	-	30,8	-	1,2

Tabulka č. 5: Imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace (www.chmi.cz)

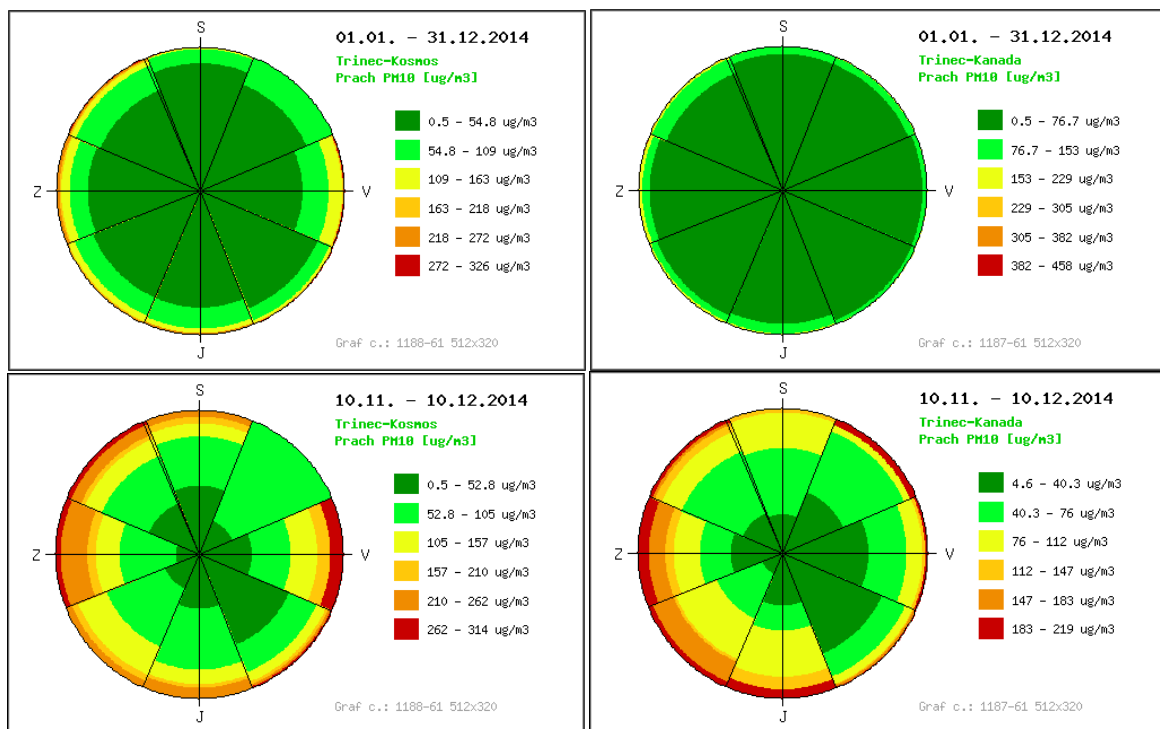
Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]		Imisní limit [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO ₂	rok a zimní období (1.10. -31.3.)	8	12	20
NO _x	kalendářní rok	19,5	24	30

Tabulka č. 6: Imisní limity pro ochranu zdraví a maximální počet jejich překročení (www.chmi.cz)

Znečišťující látka	Doba průměrování	Mez pro posuzování [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]		Imisní limit [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$] LV
		Dolní LAT	Horní UAT	
SO ₂	1 hodina	—	—	350 max. 24x za rok
	24 hodin	50 max. 3x za rok	75 max. 3x za rok	125 max. 3x za rok
NO ₂	1 hodina	100 max. 18x za rok	140 max. 18x za rok	200 max. 18x za rok
	kalendářní rok	26	32	40
PM ₁₀	24 hodin	25 max. 35x za rok	35 max. 35x za rok	50 max. 35x za rok
	kalendářní rok	20	28	40
PM _{2,5}	kalendářní rok	12	17	25
Pb	kalendářní rok	0,25	0,35	0,5
CO	maximální denní 8hod. klouzavý průměr	5 000	7 000	10 000
Benzen	kalendářní rok	2	3,5	5

Při srovnání průměrných ročních imisí za rok 2013 (tabulka č. 4) s imisními limity pro ochranu ekosystémů a vegetace (tabulka č. 5) a s imisními limity pro ochranu zdraví

(tabulka č. 6) si můžeme všimnout, že roční limit překračuje pouze znečišťující látka $PM_{2,5}$, pro kterou je imisní limit za rok $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hodnota byla naměřena na měřicí stanici Třinec-Kosmos. Průměrná hodnota na této stanici za rok 2013 činila $30,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Další měřené znečišťující látky se pohybovaly v mezních hodnotách.



Obrázek 5: Růžice částic PM_{10} na Třinecku (<http://mail.envitech.sk/phptrinec>)

Obrázek č. 5 obsahuje větrné růžice průměrných koncentrací PM_{10} za rok 2014 a za období kdy byly odebrány vzorky. Hodnoty byly naměřeny v monitorovacích stanicích Třinec-Kosmos a Třinec-Kanada.

V období od 01.01. 2014 do 31. 12. 2014 byly na monitorovací stanici Třinec – Kosmos zjištěny nejvyšší koncentrace PM_{10} v Z a SZ směru. V období odběru vzorků, od 10. 11. 2014. do 10. 12. 2014, byly naměřeny i koncentrace PM_{10} nad $262 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nebylo to jenom v západním a SZ směru, ale přibyl k nim navíc i východní směr. V monitorovací stanici Třinec – Kanada v období od 01. 01. 2014 do 31. 12. 2014 byly zjištěny nejvyšší koncentrace PM_{10} opět v Z a SZ směru. Výrazné rozdíly jsou patrné pro období odběru vzorků, kdy byly nejčastěji koncentrace PM_{10} zjištěny v J, Z a SV směru.

Z růžic vyplývá, že v období odběru vzorků v naší oblasti se data naměřená ve stanicích liší. V monitorovací stanici Třinec - Kanada byly nejvyšší koncentrace PM_{10} stanoveny ve východním směru, zatímco v monitorovací stanici Třinec – Kosmos v západním a jižním směru.

3 TĚŽKÉ KOVY

Těžké kovy jsou přirozenou součástí vyvěřelých hornin, sedimentů a půdy. V půdách se vyskytují nejvíce těžké kovy v relativně malých koncentracích, méně než 100 mg kg^{-1} sušiny. Výjimkou je železo, které se obvykle vyskytuje v koncentraci nad 5000 mg kg^{-1} . Těžkými kovy rozumíme kovy o hustotě vyšší než 5 g/cm^3 , patří mezi ně např. železo, měď, zinek, chrom, nikl, kadmium, olovo a rtuť. Některé z nich jsou pro živé organismy nezbytné (železo, měď, zinek), ovšem při vyšších koncentracích jsou toxické, jiné jsou jedovaté při všech koncentracích (olovo, rtuť, kadmium). Velká část těžkých kovů rozptýlených nyní v půdě, atmosféře a organismech se na svoje místo dostala zásluhou lidské činnosti, v některých případech (olovo, rtuť) je jejich množství v biologických cyklech několikasetnásobně vyšší než by odpovídalo přirozenému pozadí.

Přirozeným zdrojem je zvětrávání mateřské horniny a rud dotyčných kovů a je většinou převažujícím zdrojem v půdě. Z hlediska životního prostředí a jeho ochrany lze za nejvíce nebezpečné označit tyto chemické prvky: kadmium, rtuť, olovo, arzén a chrom. Jako rizikové k nim přistupují podle Světové zdravotní organizace (WHO) ještě mangan, nikl, radon a vanad. (TYLER, 2004; STARR et al., 2003; <http://fle.czu.cz>; KAFKA et al., 2002; ALLOWAY, 2013)

3.1 Těžké kovy a metaloidy v půdách

Hernandez (2003) na základě výzkumu obsahu kovů v lesních půdách ve Francii definoval pořadí kovů na základě jejich klesající koncentrace: $\text{Cr} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Cd}$. Dále zjistil, že nejvýznamnější korelační závislosti se vyskytují mezi $\text{Cr} \times \text{Co} \times \text{Ni} \times \text{Zn}$.

3.1.1 Arsen

Arsen, dvacátý nejhojnější prvek v zemské kůře, je metaloid s atomovým číslem 33 a s atomovou hmotností $74, 9216 \text{ g.mol}^{-1}$. Společně s dusíkem, fosforem, antimonem a bismutem, arsen náleží do páté hlavní skupiny v periodické tabulce.

Arsen se v životním prostředí vyskytuje v ovzduší, půdě i ve vodách. V půdách se arsen vyskytuje hlavně ve formě arsenitanů a arseničnanů železa a hliníku, které jsou málo rozpustné, zvláště na kyselých půdách. Jsou silně sorbovány hydratovanými oxidy Fe, Al,

hydroxidy, půdním humusem, jílovými minerály i kationty těžkých kovů. Odhady globální průměrné koncentrace Arsenu v půdě jsou v rozmezí okolo 5-7,5 mg .kg⁻¹, se společným rozsahem 0,1 a 55 mg. kg⁻¹.

V pitné vodě je přítomen ve formě svých rozpustných anorganických sloučenin. Organické komplexní sloučeniny mohou být součástí potravy mořských živočichů (korýšů). Používání pesticidů na bázi arsenu je důvodem přítomnosti tohoto polokovu v některých kulturních rostlinách. Arsen se také vyskytuje jako doprovodný prvek nejčastěji v rudách mědi, stříbra a olova a při získávání těchto kovů z rud se uvolňuje do životního prostředí. Význačná je i ekotoxicita arsenu. Ve vysokých koncentracích je arsen toxický pro rostliny. Na arsen také citlivě reagují stromy.

Arsen je známý jed. Sloučeniny arsenu jsou někdy používány jako krysí jedy a insekticidy, ale jejich použití je přísně kontrolováno. Arsen může překvapivě mít i léčivé schopnosti. V současné době, se organo-arsenické látky přidávají do krmiva pro drůbež k prevenci onemocnění a zlepšení přibývání na váze. Arsen se také používá jako příměs v polovodičích (arsenidu galia) pro polovodičové zařízení. Sloučeniny arsenu mohou být použity k výrobě speciálních skel a ochraně dřeva (KAFKA et al., 2002; ALLOWAY, 2012; <http://web2.mendelu.cz>; www.rsc.org).

3.1.2 Měď

Měď, s atomovým číslem 29, je první prvek ve skupině Ib v periodické tabulce prvků. Je to 26. nejhojnější prvek v litosféře. Průměrná koncentrace mědi v zemské kůře je 60 mg Cu kg⁻¹. Měď je v životním prostředí zastoupena převážně ve formě svých rud, ale v některých případech i v ryzí formě a podobně jako zinek patří k esenciálním prvkům. Je součástí některých metaloenzymů, např. tyrosinasy, a její přítomnost je nutná pro funkci jiných, zejména oxidativních enzymů. Měď je nepříliš toxická pro zvířata a mírně toxická pro rostliny a řasy. Značnou toxicitu má tento kov pro nižší organismy typu plísní, bakterií a nižších hub.

Tento těžký kov se primárně vyskytuje ve stopovém množství v různých horninách, nahromaděn je v některých sedimentech a hydrotermálních rudách. Uvolňuje se ze sirníků, síranů a uhličitánů v podobě síranu. V kyselém prostředí dochází k uvolnění ze sorpčního komplexu a odplavení půdní vodou. V humusovém horizontu lesních půd je obsah mědi 7-15 mg Cu .kg⁻¹. V horizontech minerálních se obsah celkového množství mědi pohybuje

od 2 do 5 mg Cu .kg⁻¹. V půdě se měď nachází ve formě kationtů Cu²⁺ a Cu⁺, přičemž ionty Cu⁺ vznikají v půdě pouze redukcí Cu²⁺ v anaerobních podmínkách.

Nejvíce mědi se používá v elektrických zařízeních, jako jsou elektroinstalace a motory. To je proto, že měď vede velmi dobře teplo i elektřinu a může být tažen jako drát. Má také použití ve stavebnictví (například pokrývačství a klempířství), a průmyslové stroje (například výměníky tepla). Síran měďnatý se široce používá jako zemědělský jed a také jako algicid na čištění vody. Sloučeniny mědi, jako je například Fehlingův roztok, se používají v chemických testech pro detekci cukru (KAFKA et al., 2002; ALLOWAY, 2012; HAUPTMAN et al., 2009; <http://web2.mendelu.cz>; www.rsc.org).

3.1.3 Chrom

Chrom je prvek přirozeně se vyskytující ve všech horninách. Přítomen je taky v pedosféře v rozmezí od stopového množství do relativně vysoké koncentrace, ve srovnání s jinými stopovými prvky. Zvláště vysoké koncentrace Chromu se nacházejí v serpentinatých horninách a půdách. Šestimocný chrom je klasifikován jako jeden z nejvýznamnějších kontaminantů životního prostředí, zejména atmosféry, ale i ostatních abiotických složek, jako je pedosféra a hydrosféra. Chrom se v půdě vyznačuje několika oxidačními stupni (od +2 do +6) a schopností tvořit komplexní anionty a kationty, např. Cr(OH)²⁺, CrO₄²⁻, CrO₃⁻. V půdě se většina chromu nachází v málo pohyblivé formě kationtů Cr³⁺ vázaných na oxidy železa a hliníku, které s ohledem na stejnou velikost iontového poloměru zastupuje. Mobilita chromu v půdě závisí na půdní reakci, stupni rozkladu organické hmoty, obsahu jílových minerálů a redoxního potenciálu půdy. Na rozdíl od chromitého kationtu, šestimocný kation Cr⁶⁺ je v životním prostředí velmi mobilní, a to zvláště v půdních vodách. Příznivou okolností je jeho možná detoxikace na Cr³⁺ některými organickými látkami, které mají redukční účinky. Pro většinu rostlin je šestimocný chrom značně toxický, při vysokém obsahu chromu v půdě klesá její úrodnost.

Hlavním primárním zdrojem chromu jsou bazické a ultrabazické vyvřeliny, dále doprovází rudy železa i niklu. Významné jsou průmyslové zdroje- pokovování, antikorozivní nátěry. V humusovém i minerálních horizontech lesních půd je obsah chromu 5– 15 mg Cr.kg⁻¹ (HAUPTMAN et al., 2009).

Chrom se používá ke kalení oceli, pro výrobu nerezové oceli a k výrobě několika slitin. Chromováním lze docílit leštěného zrcadlového povrchu u oceli. Asi 90% všech

vyrobených kůží je opáleno pomocí chromu. Nicméně, odpadní látky z chromu jsou toxické, takže alternativy jsou předmětem šetření. Sloučeniny chromu se používají jako průmyslové katalyzátory a pigmenty (v jasně zelené, žluté, červené a oranžové barvě). Rubíny získaly svou červenou barvu z chromu a sklo po smísení s chromem získá smaragdově zelenou barvu (KAFKA et al., 2002; ALLOWAY, 2012; <http://web2.mendelu.cz>; www.rsc.org).

3.1.4 Železo

Celkový obsah železa v půdě je poměrně vysoký. V půdě tvoří železo hlavně oxidy, sulfidy, fosfáty a silikáty. Největší část železa nacházíme v půdě v pevně vázané nevýměnné formě jako součást krystalové mřížky četných primárních a sekundárních minerálů. Z primárních minerálů jsou to augit, biotit, amfibol, olivín aj. Dále je obsaženo v různých oxidech (např. goethit, hematit, magnetit), které se v půdách objevují nejčastěji ve formě rezavých až tmavohnědých kongrecí nebo ohnivě žlutých shluků. V sekundárních minerálech je obsažen v montmorilonitu, illitu a vermikulitu, kde může při izomorfní záměně zastupovat Al^{3+} . V půdě zvětrávají a oxidují Fe minerály působením vzdušného kyslíku a železitých bakterií. Dvojmocné železo je tak oxidováno na trojmocné. Vodorozpustné železo je v půdním roztoku slabě zastoupené. Podíl Fe^{2+} a Fe^{3+} je silně závislý na pH. Fe^{3+} při pH 3 se z roztoku vysráží ve formě $\text{Fe}(\text{OH})_3$, kdežto $\text{Fe}(\text{OH})_2$ se sráží až při neutrální reakci. Ztráty železa vyplavením mohou být značné. Jeho vertikální pohyblivost v půdě je závislá na pH.

Primárními zdroji železa jsou jak vyvřeliny, tak metamorfity a sedimenty, ve kterých je vázáno v sirnicích, karbonátech, oxidech, oxyhydroxidech, i křemičitanech. Vyskytuje se ve formě dvojmocné i trojmocné. V humusovém horizontu lesních půd je obsah železa

4-9000 mg Fe.kg⁻¹. V horizontech minerálních se obsah celkového železa pohybuje od 3 do 7000 mg Fe.kg⁻¹(HAUPTMAN et al., 2009).

Železo je nejběžněji používaný kov. Nejčastěji se železo používá k výrobě oceli, která se využívá v inženýrském stavitelství (železobeton, nosníky) a ve zpracovatelském průmyslu. Je nejběžněji používaný ve svých slitinách, například: litina, ocel a kované železo. Je to velice odolný a zároveň relativně levný kov (KAFKA et al., 2002; <http://web2.mendelu.cz>; www.rsc.org).

3.1.5 Mangan

Obsah veškerého manganu v půdě kolísá v rozmezí 0,01-0,29%. Vrchní vrstva půdy v důsledku biologické akumulace obsahuje více manganu než půdotvorný substrát. Maximální obsah manganu se vyskytuje v půdách na vyvěřelinách a sedimentech. V písčitých půdách a solných půdách obsah klesá až na pouhé stopy. Sloučeniny vyskytující se v půdě obsahují mangan ve formě Mn^{2+} , Mn^{3+} a Mn^{4+} . V půdě se mangan nachází v následujících formách:

- vodorozpustný Mn^{2+} ,
- ve formě adsorbovaného manganu v minerálních a organických koloidech,
- ve formě oxidů a jejich hydrátů,
- ve formě těžce rozpustných solí manganu (fosforečnany a uhličitany),
- mangan organicky vázaný.

Do půdy se dostává zvětráváním minerálů manganitu, pyrolusitu, psilomelanu apod. Značný podíl se nachází v křemičitanech (30-50% celkového obsahu). Dále je to ve formě různých amorfních nebo krystalických bezvodých nebo hydratovaných oxidů - MnO_2 , $MnO_2 \cdot nH_2O$, Mn_2O_3 , $Mn_2O_3 \cdot H_2O$, $Mn(OH)_2$. Hlavní formy manganu v půdě jsou ve vodě rozpustné.

V přírodě je nahromaděn v různých manganových rudách, značná množství se ho uvolňují i z uhličitánů a tmavých minerálů, bohatých železem. V humusovém horizontu lesních půd je obsah manganu 200-600 mg Mn .kg-1. V horizontech minerálních se obsah celkového manganu pohybuje od 100 do 250 mg Mn .kg-1. Bilančně vzato je významné vymývání Mn z povrchu listů a jehlic a jeho obsahy v odpadu (HAUPTMAN et al., 2009).

Mangan je příliš křehký na to, aby byl použit jako čistý kov. Používá se hlavně ve slitinách, jako je ocel. Ocel obsahuje asi 1% manganu, pro zvýšení pevnosti a také zlepšení zpracovatelnosti a odolnosti proti opotřebení. Nápojové plechovky jsou vyrobeny ze slitiny hliníku s 1,5% manganu, s cílem zlepšit odolnost proti korozi (ALLOWAY, 2012; <http://web2.mendelu.cz>; www.rsc.org).

3.1.6 Nikl

Nikl je prvek přirozeně se vyskytující ve všech horninách. Přítomen je taky v pedosféře v rozmezí od stopového množství do relativně vysoké koncentrace, ve srovnání s jinými stopovými prvky. Zvláště vysoké koncentrace Chromu se nacházejí v serpentinatých horninách a půdách. Nikl se může vyskytovat jako kontaminační složka ve všech typech abiotického prostředí v atmosféře, hydrosféře i v pedosféře. V půdách se nikl vyskytuje v koncentracích od 0,2 do 5000 mg.kg⁻¹ o průměrných koncentracích v rozmezí 20 – 50 mg/kg, pokud počítáme s ultramafity (pokud ne, světový průměr činí 22 mg/kg). Nikl má vysokou afinitu k půdní organické hmotě a jeho rozpustnost je velmi závislá na půdním pH (maximální rozpustnost při pH méně než 6). Jeho zdrojem mohou být metalurgické provozy, ale i spalovny komunálního odpadu. Znečištění půd niklem může být oproti vodám významnější s výrazným negativním dopadem na související fytocenózu. Jde zejména o lokality v blízkosti hutí a rafinerii niklu, kde dochází často k úplné devastaci přirozené vegetace. Proto nikl obvykle nevstupuje do trofických řetězců vycházejících z autotrofních organismů.

Nikl odolává korozi a používá se k ochraně dalších kovů. Je však používá především při výrobě slitin, jako je nerezová ocel. Niklová ocel se používá pro pancéřování. Nikl se používá v bateriích, včetně dobíjecí nikl-kadmiové baterie a nikl-metal hydridové baterie používané v hybridních vozidlech. Jemně rozptýlený nikl se používá jako katalyzátor pro hydrogenaci rostlinného oleje (KAFKA et al., 2002; ALLOWAY, 2012; www.rsc.org).

3.1.7 Olovo

Podobně jako rtuť patří i olovo k nejdéle známým a hojně využívaným těžkým kovům, což vedlo mimo jiné záhy i ke zjištění jeho toxických účinků. Obsah olova v půdě vykazuje výraznou závislost na hloubce, nejvyšší hodnoty jsou v nadložních organických horizontech, neboť tvoří silné komplexy právě s organickými látkami; s hloubkou jeho obsah výrazně klesá. Olovo se do půdy dostává hlavně atmosférickou depozicí. Geogenně podmíněné zvýšené obsahy olova jsou vázány především na jeho chalkogenní výskyt v rudných žilách. Nejrozšířenější rudou Pb je galenit PbS, známý také jako leštěnc olověný. V půdě je olovo velmi málo pohyblivé. Je to dáno tím, že soli olova jsou většinou málo rozpustné a kromě toho také proto, že olovo je dobře poutáno jílovými minerály i humusovými látkami. Přesto je upozorňováno na to, že imobilitu olova nelze

přeceňovat, protože za přítomnosti chelátů jako transportních systémů může pohyblivost olova překvapivě narůstat. Olovo se hromadí převážně v humusovém horizontu. Sorpce olova humusem je pevnější než jílovými minerály. Fulvokyseliny mohou naopak olovo chelatizovat a zvyšovat tak jeho pohyblivost v půdě a přijatelnost rostlinami. Na sloučeniny olova je nejbohatší vrchní padesátimilimetrová vrstva půdy a s přibývajícím hloubkou obsah Pb klesá. Olovo se váže převážně na jílové minerály, oxidy manganu, hydroxidy Fe a Al a organickou hmotu. V některých půdách se může koncentrovat v částicích uhličitanu vápenatého nebo ve fosforečných sloučeninách.

Vstup zvětráváním sirníků olova je převýšen antropogenními vstupy z průmyslových emisí, dopravy, skládek a spaloven. V humusovém horizontu lesních půd je obsah olova 30-80 mg Pb .kg⁻¹. V horizontech minerálních se obsah celkového olova pohybuje od 20 do 35 mg Pb .kg⁻¹ (HAUPTMAN et al., 2009).

Olovo je stále široce používáno pro autobaterie, munice, opláštění kabelů, činky, hmotnostní pásy pro potápění, radiační ochrany a v některých pájkách. Často se používá k ukládání korozivní kapaliny (KAFKA et al., 2002; ŠOMŠÁK et al., 2007; <http://web2.mendelu.cz>; ALLOWAY, 2012; www.rsc.org).

3.1.8 Zinek

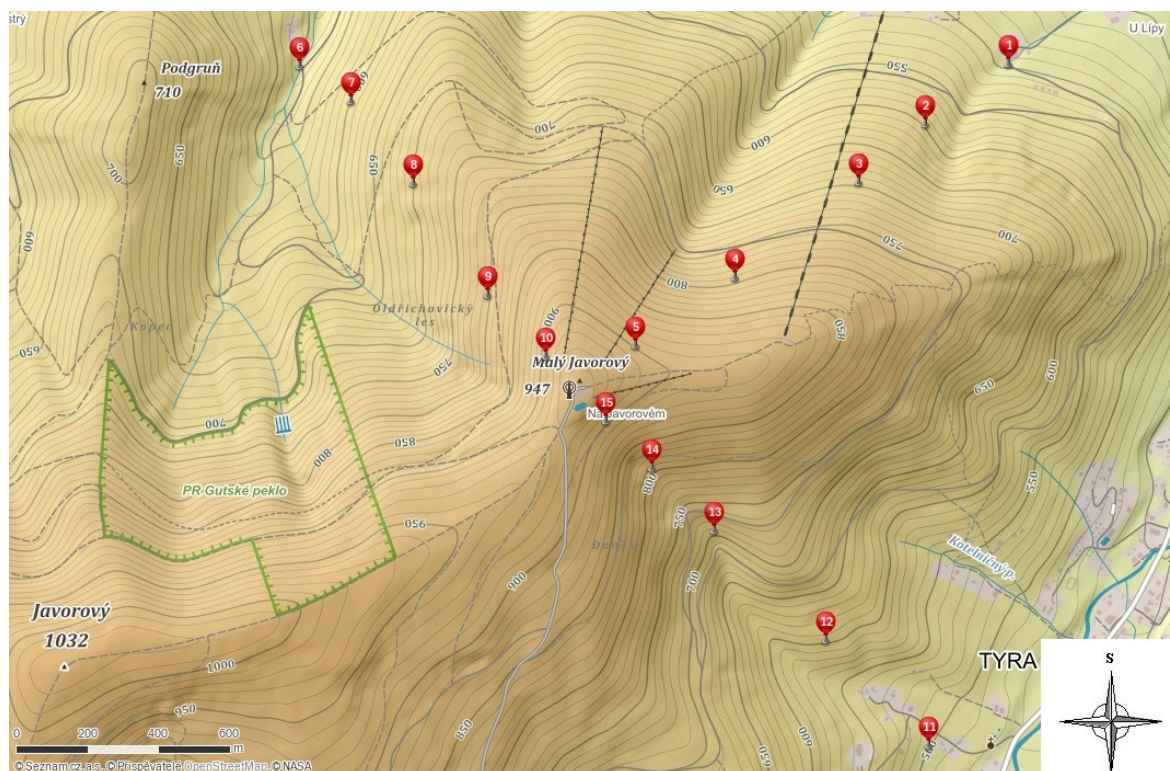
Je to relativně měkký kov namodralé barvy tvořící s ostatními kovy průmyslově důležité slitiny. Hojně využívané jsou zejména slitiny s mědi (mosazi) a slitiny s mědi a cínem (bronzy). Zinek je v půdě obsažen v různých formách, jeho celkový obsah je značně rozdílný a závisí zejména na obsahu zinku v mateční hornině a charakteru půdotvorného procesu. Zinek je přirozeně přítomen ve všech půdách v časté koncentraci 10-100 mg Zn kg⁻¹. Zinkem kontaminované půdy s negativním účinkem na půdní ekosystém se nachází v blízkosti tavíren zinku, blízko zinkových důlních sítí a tam, kde se nachází pozinkované konstrukce. V nevýměnné formě je zinek vázán v mřížce různých minerálů (biotit, augit, amfibol aj.), kde neutralizuje negativní valence neobsazené vodíkem, popř. izomorfne nahrazuje hořčík. Více zinku obsahují horniny bazické než kyselé, neboť v kyselém prostředí jsou sloučeniny rozpustnější. Zvětráváním se uvolňuje iont Zn²⁺, zvláště v kyselém prostředí. Organické látky jsou schopny vázat zinek do stabilních forem, a proto se hromadí hlavně v humózním horizontu a v rašelině. Nepatrné množství zinku se v půdě nachází ve formě vodorozpustných solí

Zinek se uvolňuje především zvětráváním křemičitanů, v kyselém prostředí je v roztoku jako síran nebo chlorid, v alkalickém prostředí se hromadí jako sirník, oxid nebo uhličitan. V humusovém horizontu lesních půd je obsah zinku 35-45 mg Zn kg⁻¹. V horizontech minerálních se obsah celkového zinku pohybuje od 10 do 20 mg Zn kg⁻¹ (HAUPTMAN et al., 2009).

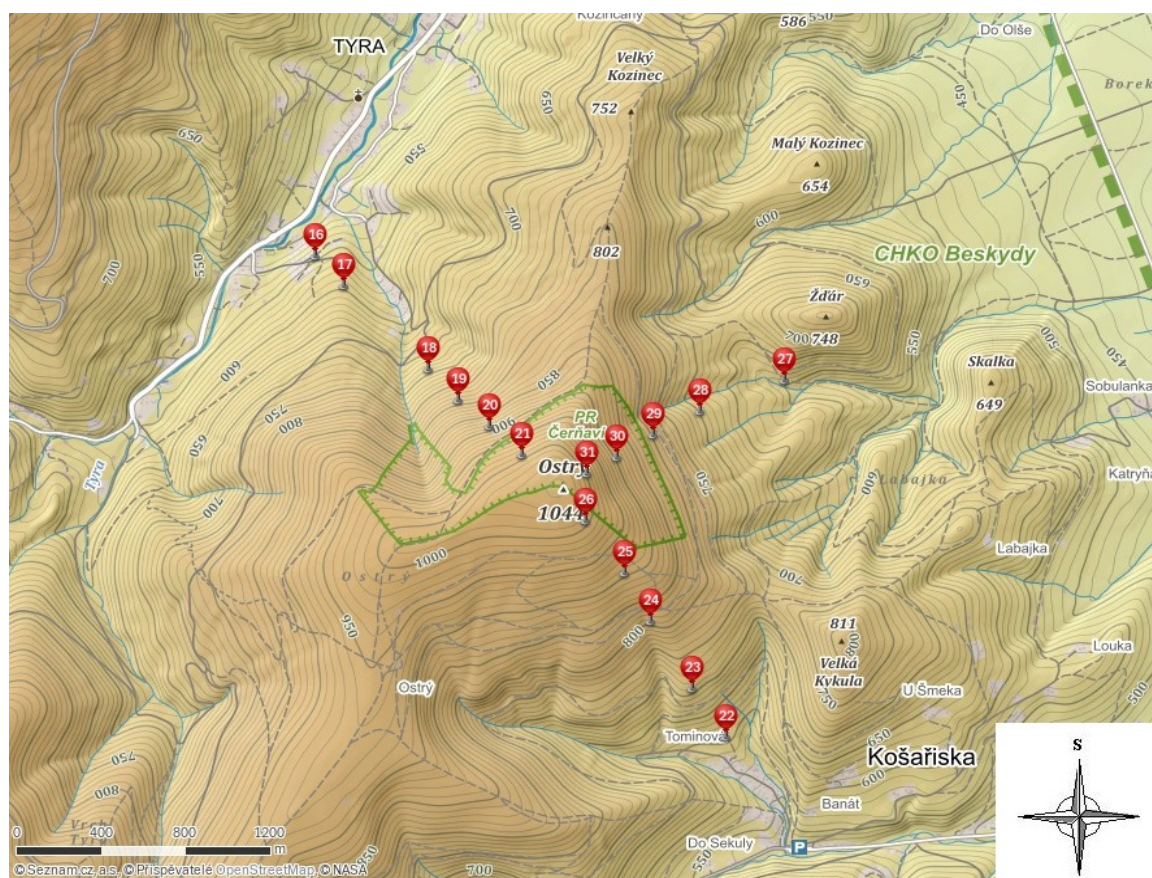
Nejvíce zinku se používá ke galvanizaci jiných kovů, jako je železo, aby se zabránilo korozi. Pozinkovaná ocel se používá pro karoserie automobilů, pouliční kandelábry, bezpečnostní bariéry a visuté mosty. Velké množství zinku se používají k výrobě odlitků, které jsou důležité v automobilovém, elektrickém a hardwarovém průmyslu. Oxid zinečnatý je široce používán při výrobě velmi mnoha výrobků, jako jsou barvy, pryže, kosmetika, léčiva, plasty, inkousty, mýdla, baterie, textil a elektrická zařízení. Sulfid zinku se používá při výrobě zářivek a rentgenové obrazovky (KAFKA et al., 2002; ALLOWAY, 2012; <http://web2.mendelu.cz>; www.rsc.org).

4 ODBĚR A ANALÝZA VZORKŮ

Místa odběru byla navržena podle systematického přístupu, který je popsán v normě ČSN EN ISO 19258. Místa odběru vzorku byla zvolena po konzultaci s vedoucím mé bakalářské práce prof. Ing. Helenou Raclavskou, CSc.. Byly zvoleny 2 Lokality. Podvrchol Malý Javorový (obrázek č. 6) a vrchol Ostrý (obrázek č. 7). Směr odběrů byl zvolen podle převažujících směrů větrů v oblasti. Vzorky byly v obou lokalitách odebrány ve třech směrech (SV, SZ, JV), ve vzdálenostech po 100 m n. m. Vzorky lesních půd z obou lokalit jsem odebíral z jehličnatých a z listnatých lesů, v rozmezí jednoho měsíce (listopad – prosinec 2014). Před odebráním vzorku jsem odhrnul vrstvu hrabanky a poté odebral vzorek zeminy o průměrné hmotnosti 0,25 kg, z hloubky 5-10 cm. Vzorky jsem odebíral pomocí sázecí lopatky a poté je umístil do LPDE sáčků. Tímto způsobem jsem odebral všech 31 vzorků. Poté jsem všechny odebrané vzorky uchoval v místnosti s nízkou vlhkostí a s omezeným přísunem tepla, podle ČSN EN ISO 19258.



Obrázek 6: Oblast odběru vzorků – Malý Javorový (www.mapy.cz)



Obrázek 7: Oblast odběru vzorků – Ostrý (www.mapy.cz)

V laboratoři jsem vzorek nejprve vysušil v sušárně při teplotě 40 °C. Po vysušení jsem všechny vzorky podrtil a umístil je do papírových sáčku, které jsem předtím číselně označil. V dalším kroku jsem provedl homogenizaci, přesel jednotlivé vzorky přes síto s průměrem ok 2 mm. Veškerá příprava byla provedena dle normy ČSN ISO 11464.

4.1 Stanovení pH

Analýzu pH jsem provedl podle normy ČSN ISO 10390. Prvním krokem bylo odvážení 10 mg vzorku do dvou předem připravených a popsaných lahvíček. První lahvičku se vzorkem jsem zalil 50 ml destilované vody a druhou lahvičku 50 ml roztokem KCl. Tento postup jsem opakoval pro zbývajících 30 vzorků. Poté jsem vzorky umístil na třepačku, kde se vzorky třepaly po dobu 1 hodiny. Po skončení procesu jsme museli nechat vzorky další hodinu v klidu. Poté jsem pomocí pH metru změřil pH vzorku (obrázek č. 8). Měření jsem opakoval 3x pro každý vzorek a nakonec jsem vypočítal aritmetický průměr.



Obrázek 8: Měření pH pomocí pH metru

Tabulka č. 7: Hodnoty pH/H₂O a pH/KCl

Vzorek č.:	H ₂ O	KCl	Vzorek č.:	H ₂ O	KCl	Vzorek č.:	H ₂ O	KCl
1	3,68	3,08	12	3,54	2,69	23	3,57	2,7
2	3,62	3,07	13	3,32	2,56	24	3,37	2,55
3	3,54	3,07	14	3,29	2,65	25	3,48	2,83
4	3,03	2,45	15	3,93	3,29	26	3,33	2,49
5	3,27	2,73	16	3,73	2,93	27	3,34	2,64
6	3,87	3,07	17	3,52	2,89	28	3,85	3,09
7	3,34	2,94	18	3,38	2,74	29	3,5	2,92
8	3,16	3,16	19	3,33	2,69	30	3,43	2,81
9	3,2	3,2	20	3,13	2,47	31	3,23	2,7
10	4,41	3,69	21	5,01	4,19			
11	5,3	4,22	22	3,87	3,24			

Výsledné hodnoty pH/H₂O se pohybují v rozmezí od 3,03 do 5,3. Podle kritérií pro hodnocení pH lesních půd se tedy jedná o půdy silně, až extrémně kyselé. Průměrná hodnota pH je 3,46 a medián 3,43. Z těchto hodnot nám vychází, že jde převážně o půdy extrémně kyselé. Hodnoty pH/KCl se pohybují v rozmezí od 2,45 do 4,22. Jedná se tudíž opět o půdy silně, až extrémně kyselé. Průměrná hodnota pH je 2,75 a medián 2,7. Z těchto hodnot nám opět vychází, že se jedná převážně o půdy extrémně kyselé.

4.2 Zhodnocení koncentrace těžkých kovů v půdách

Množství koncentrace těžkých kovů v půdách byla provedena pomocí mobilního analyzátoru Innov-X. RTG- fluorescenční spektrometr umožňuje nedestruktivní stanovení 26 prvků v půdách. Spolu se standardními prvky Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Hf, W, Ta, Re, Pb, Ag, Sn, Bi přístroj dokáže analyzovat prvky, jako jsou Au, Pd, Pt, Ir, Rh a dále pak samozřejmě prvky Al, Mg, Si, P, S bez použití vakua či hélia a to s bezkonkurenční analytickou přesností a rychlostí. Je možné přidat i další měřené prvky.

Metoda optimalizuje podmínky pro stanovení ex situ a in situ v laboratoři po homogenizaci a prosetí vzorku. Schopnost přístroje měřit stopové prvky je založena na ionizaci vnitřních částí elektronů v atomech vzorků pomocí X-ray fotonů (www.irz.cz, www.bas.cz, www.epa.gov).

4.2.1 Příprava vzorku

Před začátkem měření jsem si odsypal do kovové nádoby s prstenci přibližně 10 mg předem nadrceného vzorku, kterou jsem poté uzavřel a vložil do vibračního mlýnku. Po nadrcení jsem vzorek nasypal do kyvet.

4.2.2 Výsledky měření RTG-fluorescenční analýzy

Výsledky měření zájmových prvků jsou uvedeny v tabulce č. 8 pro zkoumané prvky. V tabulce č. 9 jsou dále uvedeny ostatní naměřené prvky. Vzorky u kterých je uvedeno ND znamenají, že naměřená hodnota byla pod mezí detekce.

Tabulka č. 8: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy zkoumaných prvků

Vzorek č.	As	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	40	50	52	3,3	482	21	213	254
2	41	56	70	3,78	434	18	268	283
3	45	55	70	4,93	619	22	231	333
4	68	124	110	7,93	944	27	608	744
5	39	49	63	3,98	513	14	285	307
6	35	44	58	3,7	395	19	215	263
7	49	46	43	2,8	423	8	260	214
8	43	57	56	4,4	578	12	254	319
9	34	39	57	2,43	327	ND	187	178
10	65	45	36	3,42	381	7	329	280
11	16	26	45	2,52	693	15	70	229
12	41	39	51	3,75	437	8	228	298
13	50	49	ND	3,06	397	ND	355	262
14	49	49	26	3,32	412	ND	292	241
15	24	23	38	2,7	247	8	118	125
16	20	29	29	2,77	289	8	124	218
17	22	30	74	3,05	389	16	140	254
18	59	49	47	3,7	453	8	259	238
19	58	62	48	4	478	13	323	353
20	55	91	86	5,74	822	22	413	514
21	54	87	17	3,41	2480	ND	510	553
22	23	23	62	2,73	571	15	123	229
23	41	40	29	3,26	418	ND	238	286
24	40	46	24	3,56	46	ND	306	364
25	34	28	34	3,26	248	7	131	126
26	71	72	50	3,99	418	ND	378	392
27	52	55	49	4,15	529	7	349	401
28	46	61	68	4,62	888	26	341	377
29	43	57	82	4,45	694	18	275	365
30	64	58	52	4,49	589	15	336	384
31	87	122	76	5,87	751	15	1098	606

Tabulka č. 9: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy ostatních zkoumaných prvků

Vzorek č.	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Rb	Sr	Zr
	%	%	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	3,34	25,18	0,38	1327	1,31	ND	0,42	86	60	246
2	3,22	22,40	0,43	1366	1,59	337	0,39	108	56	212
3	3,31	20,53	0,38	1998	1,51	360	0,34	81	58	200
4	2,25	8,96	0,35	3922	0,68	2402	0,25	41	41	75
5	2,94	19,58	0,5	2229	1,38	443	0,31	8	44	159
6	3,66	18,08	0,37	2108	1,74	1817	0,36	96	53	183
7	2,88	23,8	0,38	1673	1,44	351	0,32	87	56	183
8	2,44	14,96	0,37	2631	0,96	1217	0,25	64	42	120
9	2,01	22,26	0,34	2195	1,12	437	0,29	54	43	158
10	2,55	17,21	0,35	2477	0,99	5756	0,24	58	40	114
11	3,87	24,02	0,38	648	1,67	1949	0,46	93	64	284
12	2,44	14,8	0,33	2630	0,79	1581	0,28	41	39	154
13	1,67	11,17	0,35	3609	0,76	2314	0,21	41	31	85
14	2,34	18,10	0,36	2814	1,02	402	0,27	51	36	134
15	3,34	23,07	0,4	933	1,5	82	0,39	94	46	231
16	3,05	17,79	0,39	2067	1,15	1659	0,4	63	47	232
17	3,623	20,33	0,4	1526	1,44	464	0,51	84	55	290
18	2,83	19,33	0,37	2081	1,1	313	0,35	59	42	198
19	2,6	15,89	0,45	2605	1,2	1233	0,3	68	45	149
20	2,56	12,46	0,40	2891	0,94	1388	0,31	66	44	127
21	1,12	3,61	0,35	4034	0,52	18432	0,12	27	57	36
22	4,8	22,67	0,39	0916	1,9	ND	0,55	119	63	292
23	2,48	13	0,33	2979	0,92	2830	0,33	60	43	149
24	1,53	8,23	0,34	4026	0,54	2982	0,18	30	28	67
25	2,62	21,52	0,37	1301	1,1	ND	0,38	65	38	224
26	2,15	11,31	0,36	3641	0,8	1663	0,26	52	35	101
27	2,48	11,48	0,35	3114	0,82	1817	0,34	49	41	163
28	4,1	14,85	0,423	2024	1,61	213	0,42	114	59	167
29	4,17	18,90	0,48	1562	1,68	482	0,46	123	58	206
30	2,85	16,31	0,43	2691	1,2	787	0,3	78	44	144
31	2,21	8,75	0,41	4518	0,7	1329	0,23	39	36	70

4.3 Magnetická susceptibilita

Magnetická susceptibilita je parametr, který hodnotí odezvu materiálu na vnější magnetické pole. To znamená, jak silně je materiál do vnějšího magnetického pole přitahován nebo odpuzován, resp. jak je v magnetickém poli zmagnetizován. Magnetická hodnota může být kladná (paramagnetické materiály) nebo záporná (diamagnetické materiály).

Objemová magnetická susceptibilita k , je definována jako poměr $k = J/H$, kde J je magnetizace v A/m a H je intenzita magnetického pole v A/m. Z definice plyne, že hodnota objemové magnetické susceptibility je bezrozměrnou veličinou. Bývá udávána v jednotkách SI.

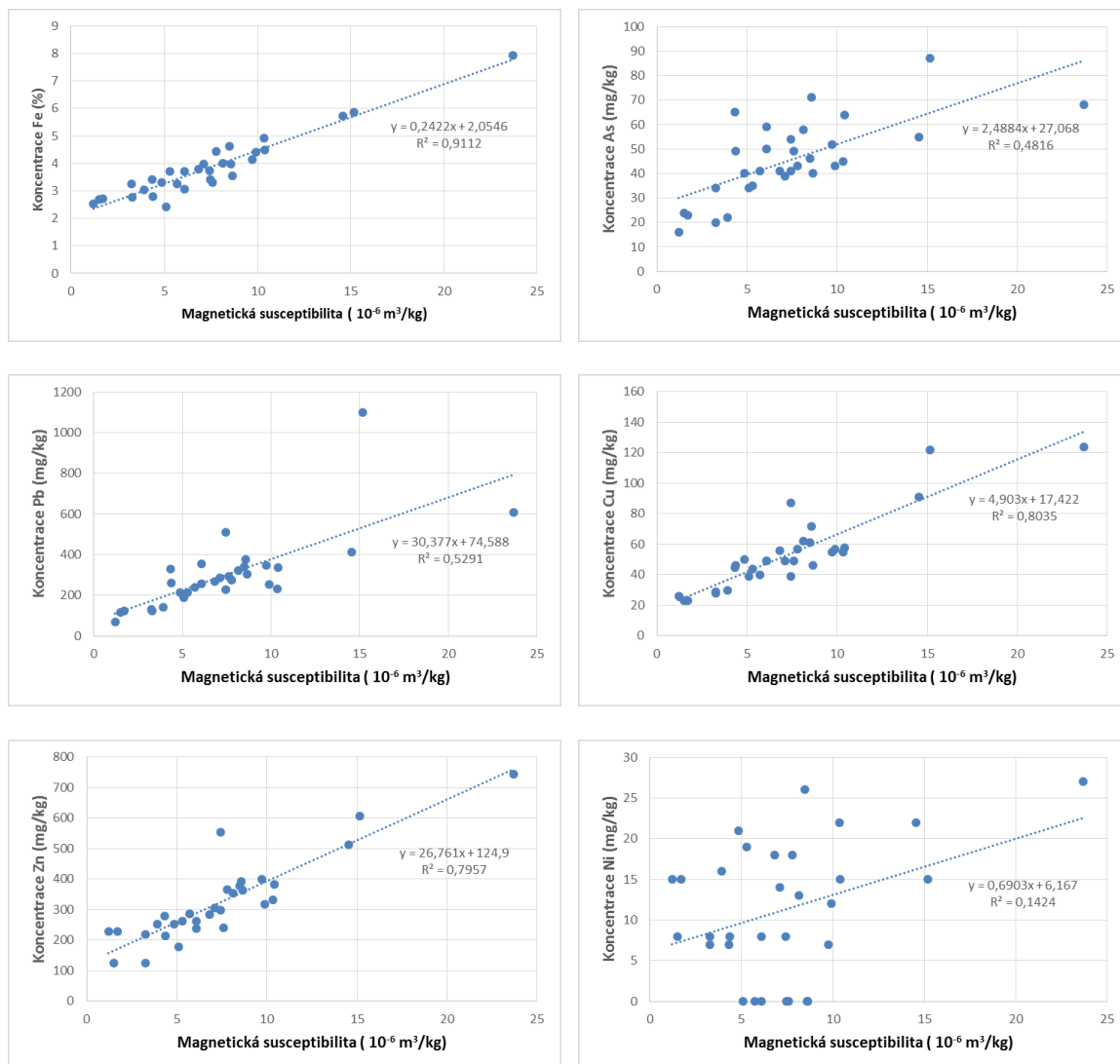
Hmotnostní magnetická susceptibilita je odvozená od objemové susceptibility (je standardizována pomocí měrné hmotnosti) tj. $\chi = k/r$. Hmotnostní magnetická susceptibilita je udávána v m³/kg.

Pro rozhodnutí, zda je lépe používat objemovou nebo hmotnostní susceptibilitu je potřeba vycházet z vlastností studovaných materiálů. Pokud všechny vzorky studovaného materiálu vykazují přibližně stejnou měrnou hmotnost, pak se vystačí s objemovou susceptibilitou. Pokud jsou ale srovnávány materiály s různou měrnou hmotností, je potřeba vycházet z hodnot hmotnostní magnetické susceptibility (RACLAVSKÁ et al., 2008).

Tabulka č. 10: Hmotnostní a Objemová magnetická susceptibilita

Vzorek č.	c-LF 10 ⁻⁶ m ³ /kg	κ-LF 10 ⁻⁵ j. SI	Vzorek č.	c-LF 10 ⁻⁶ m ³ /kg	κ-LF 10 ⁻⁵ j. SI
1	4,854	432,4	17	3,913	288,4
2	6,827	527,8	18	6,079	450,5
3	10,345	875,4	19	8,145	531,8
4	23,707	1150,5	20	14,567	728,8
5	7,110	524,2	21	7,454	262,6
6	5,295	374,2	22	1,709	150,4
7	4,374	381,2	23	5,712	272,3
8	9,904	549,6	24	8,649	377,3
9	5,094	370,5	25	3,263	254,6
10	4,331	322,5	26	8,579	431,2
11	1,209	124,2	27	9,740	461,1
12	7,436	378,4	28	8,480	505,6
13	6,075	291,4	29	7,799	564
14	7,594	514,1	30	10,407	724,1
15	1,517	137,3	31	15,175	808,6
16	3,276	187,3			

Výsledky měření magnetické susceptibility u zkoumaných vzorků se nachází v tabulce č. 10. Objemová magnetická susceptibilita je vyznačena jako (κ-LF 10⁻⁵ j. SI) a hmotnostní magnetická susceptibilita je označena jako (c-LF 10⁻⁶ m³/kg).



Obrázek 9: Závislost mezi magnetickou susceptibilitou a Fe, As, Pb, Cu, Zn a Ni

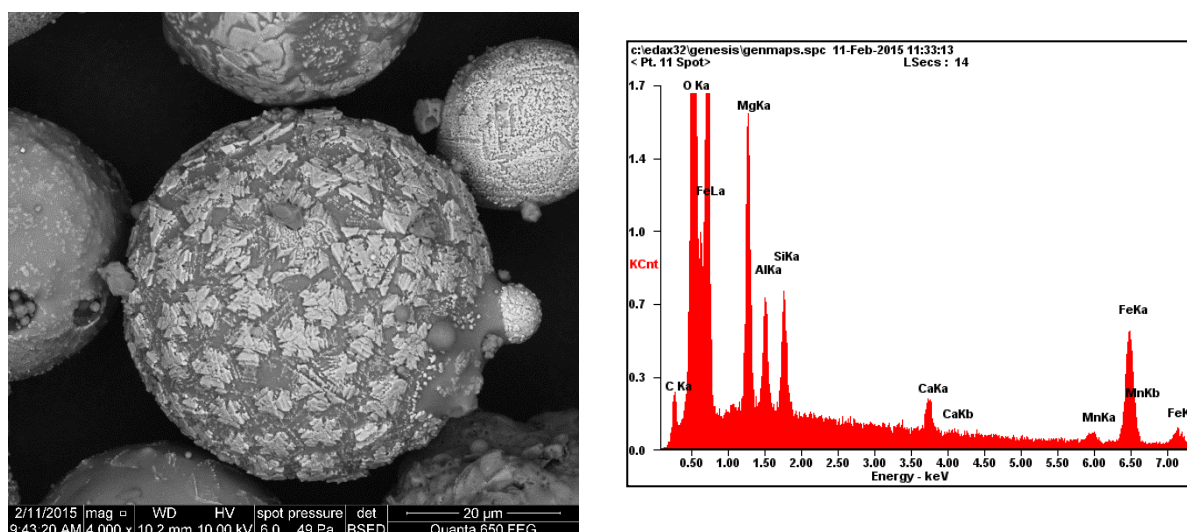
Magnetická susceptibilita se velmi často používá jako indikátor kontaminace půd (Petrovsky et al. 2000, Matysek et al. 2008, Cervi et al. 2014). Nositelem magnetických vlastností půd je přítomnost magnetitu, maghemitu a minerálů ze skupiny spinelů: magnesioferrit a magnetit (Matysek et al. 2008). Na obrázku č. 9 jsou uvedeny závislosti mezi magnetickou susceptibilitou a obsahem kovů. Statisticky nevýznamná závislost byla prokázána pouze mezi obsahem Ni v lesních půdách a magnetickou susceptibilitou. Z těchto výsledků vyplývá, že výskyt Zn, Cr, As a Pb v lesních půdách je vázán na magnetických minerálech v půdách.

Srovnání hodnot magnetické susceptibility naměřených pro 1280 vzorků lesních půd v Beskydech (Matysek et al. 2008) s hodnotami zjištěnými pro oblast Javorového a Ostrého je uvedeno v tabulce č. 11.

Tabulka č. 11: Hodnoty magnetické susceptibility ($\times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$) pro Beskydy a oblast Javorového a Ostrého

	Beskydy - Matýsek	Ostrý	Javorový
Ar. průměr	4.64	7.68	7.04
St. odchylka	4.41	3.64	5.09
Medián	3.28	7.97	6.07
Minimum	0.57	1.70	1.20
Maximum	37.52	15.70	23.70

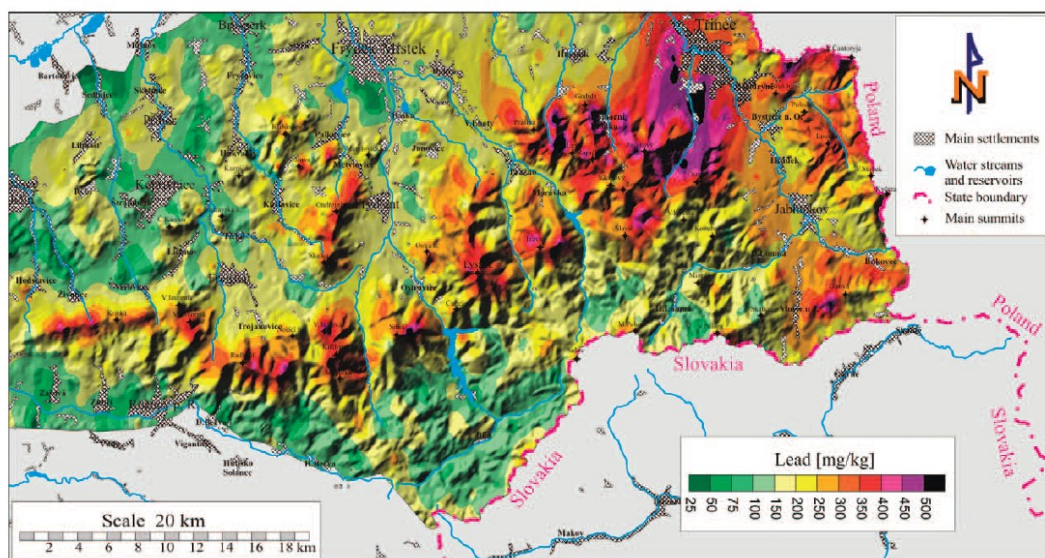
Hodnoty magnetické susceptibility lesních půd jsou v oblasti Javorového a Ostrého vyšší než průměrné hodnoty celého souboru, tyto výsledky jsou ve shodě s publikovanými daty (Matýsek et al. 2008), který uvádí, že oblast v těsném okolí Třinecka vykazuje nejvyšší hodnoty kontaminace půd i magnetické susceptibility.



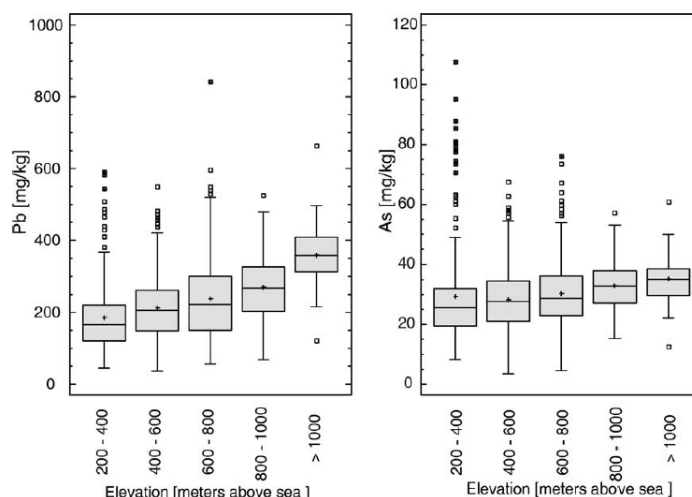
Obrázek 10: Charakter magnetické částice ze spalování fosilních paliv včetně spektra (SEM-EDAX), autor Dr.Ing.D.Matýsek

5 ZÁVISLOST MEZI NADMOŘSKOU VÝŠKOU A OBSAHEM TĚŽKÝCH KOVŮ V PŮDĚ

Závislost obsahu kovů v půdách na nadmořské výšce byla pro lesní půdy Beskyd popsána Matýskem et al. (2008). Následující 2 obrázky dokumentují nejvyšší výskyt koncentrace Pb v lesních půdách vrcholových oblastí Beskyd pomocí mapy izolinií. Na dalším obrázku je pomocí krabicového grafu vyjádřena závislost mezi obsahem Pb, As a nadmořskou výškou pro 1200 vzorků z Moravskoslezských Beskyd (MATYSEK et al. 2008).

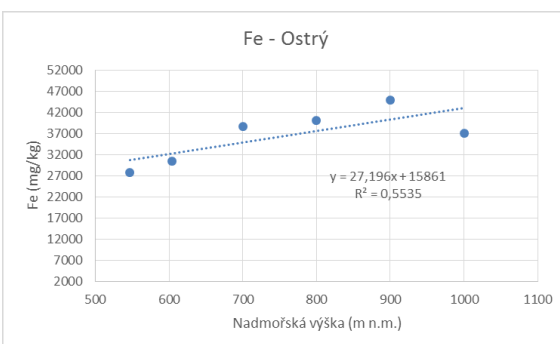
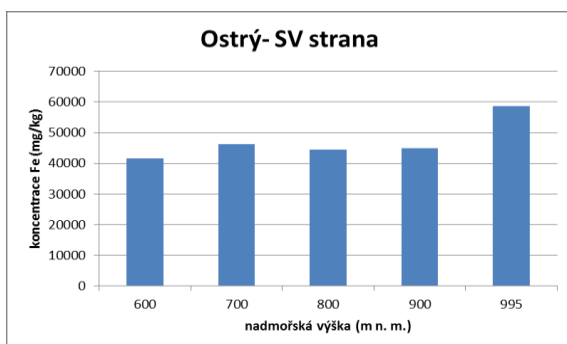
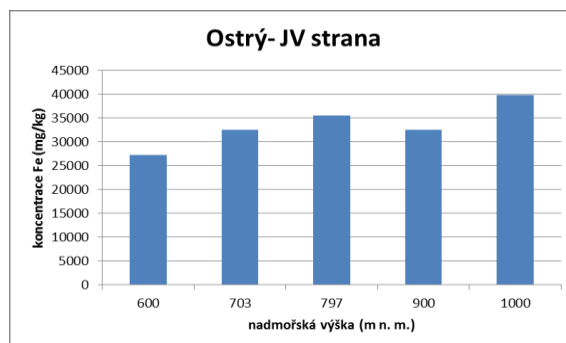
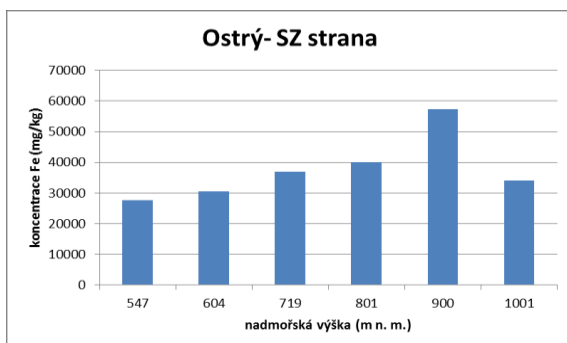
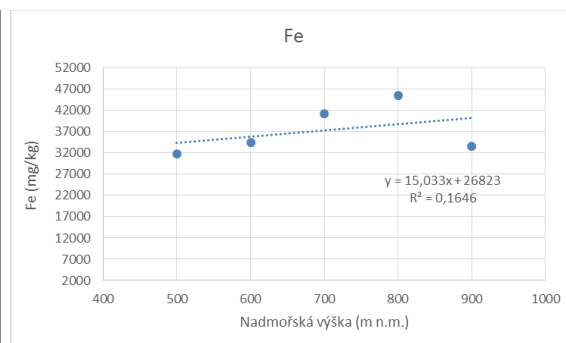
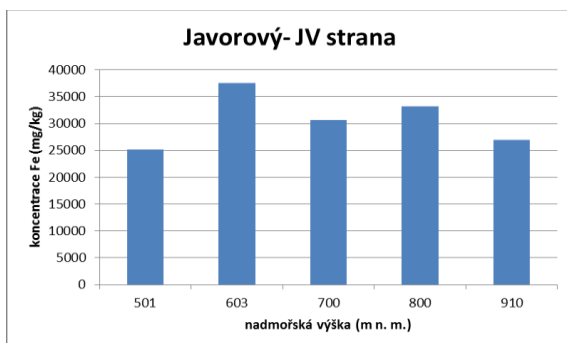
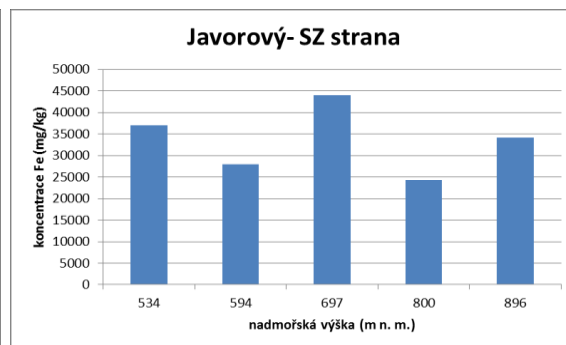
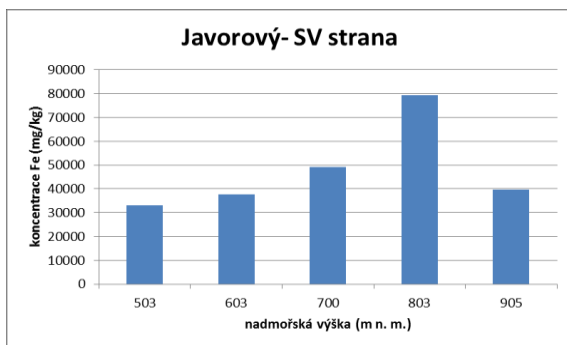


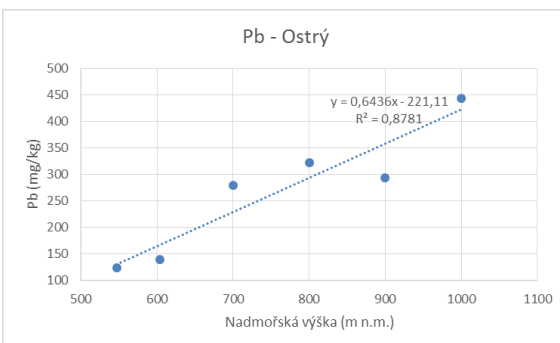
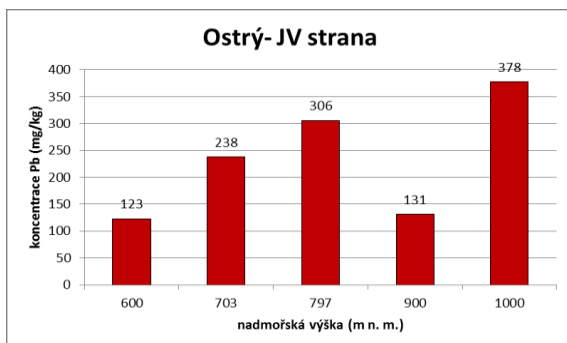
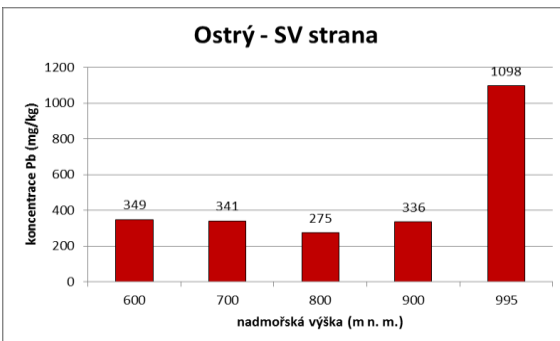
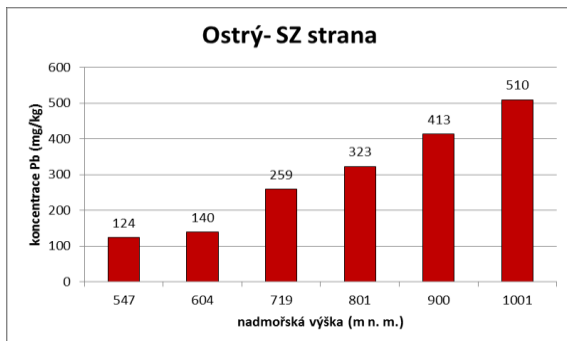
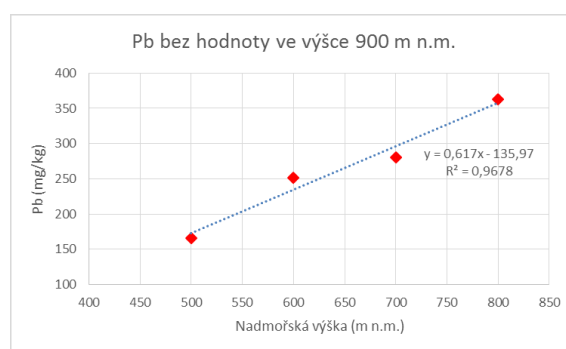
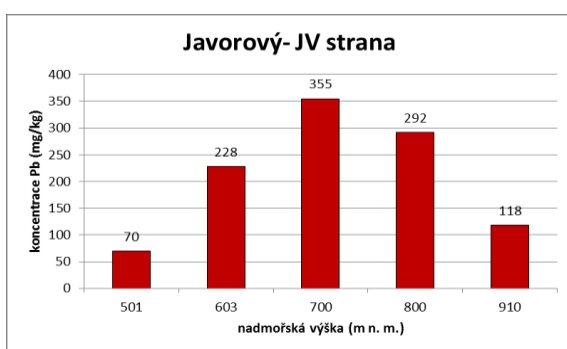
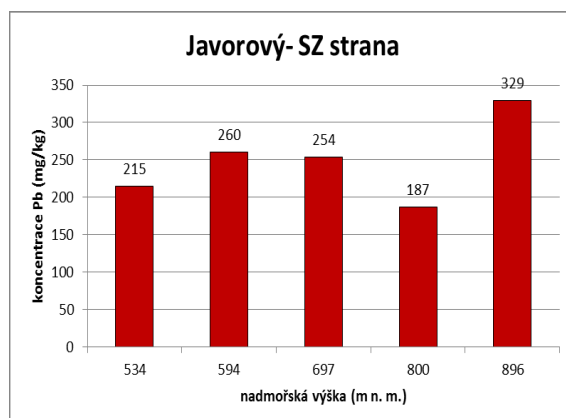
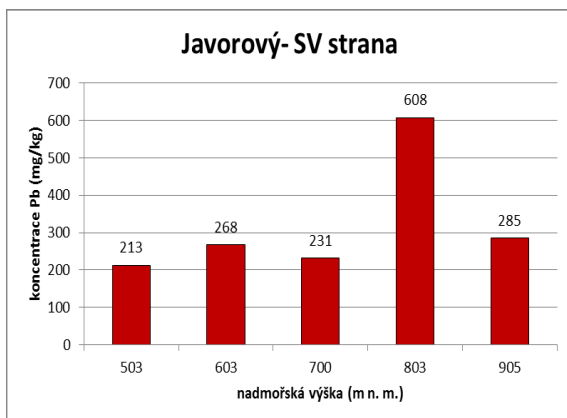
Obrázek 11: Mapa izoliní plošné distribuce Pb v humusovém horizontu lesních půd na území Beskyd (MATYSEK et al. 2008)



Obrázek 12: Krabicové grafy vyjádřující závislost obsahu Pb a As na nadmořské výšce (MATYSEK et al. 2008)

V rámci řešení bakalářské práce byly odebrány vzorky humusového horizontu v profilech situovaných SV, SZ a JV u Javorového i u Ostrého. Výsledky koncentrace vybraných prvků v závislosti na nadmořské výšce jsou uvedeny na obr. Dále je závislost mezi nadmořskou výškou a koncentrací prvku v humusovém horizontu lesních půd vyjádřena lineární regresí. Pro konstrukci těchto závislostí byly sečteny a zprůměrovány hodnoty ve stejných nadmořských výškách sledované oblasti.







Obrázek 13: Koncentrace vybraných prvků v závislosti na nadmožské výšce

Z uvedených výsledků je zřejmé, že se potvrdila závislost rostoucího obsahu kovů se vzrůstající nadmožskou výškou. U Javorového to platí do 800 m n. m., ve vrcholové části byly obsahy Fe i Zn nižší. V lesních půdách v oblasti Ostrého rostou koncentrace až do nadmožské výšky 1000 m n. m.

6 ZHODNOCENÍ KONCENTRACE TĚŽKÝCH KOVŮ V PŮDÁCH BESKYD

Relativně vysoké obsahy Pb jsou v souladu s výzkumem Kuňáka (2004), který pro lesy v oblasti Českého Těšína uvádí hodnoty v rozmezí 240 – 280 mg/kg sušiny. Celostátní průměr obsahu Mn v lesních půdách se pohybuje okolo 400 mg/kg. Kuňák (2004) stanovil v lesních půdách v oblasti Českého Těšína koncentrace výrazně vyšší, a to v rozmezí 500 – 2000 mg/kg. Obsahy Cr v lesních půdách ČR se podle Suchary a Sucharové (2004) pohybují okolo 40 mg/kg. Kuňák (2004) uvádí, že humusový horizont lesních půd v Moravskoslezském kraji obsahuje nejvyšší koncentrace Cr (30 – 60 mg/kg). Lesní půdy humusového horizontu z Javorového a Ostrého obsahují cca 50 mg/kg Cr. Za požadovou hodnotu pro As v lesních půdách se uvádí 7 mg/kg, pro oblast Moravskoslezských Beskyd uvádí Suchara a Sucharová (2004) hodnoty v rozsahu 20 – 30 mg/kg.

Průzkumem humusového horizontu v ČR zjistili Suchara a Sucharová (2004), že průměrné obsahy Cd se pohybují v rozmezí 0,7 – 0,9 mg/kg, za velmi vysoké hodnoty považují obsahy nad 1.1 mg/kg. Kuňák 2004 uvádí pro lesní půdy z oblasti Českého Těšína hodnoty vyšší v rozmezí 1,3 – 1,5 mg/kg. Za anomální považuje hodnotu 4 mg/kg Cd, která byla zjištěna v jednom případě. Lesní půdy z Javorového i Ostrého obsahují až trojnásobně vyšší obsahy Cd (okolo 12 mg/kg). Tyto obsahy je nutné ověřit ještě jinou analytickou metodou než RTG-fluorescenční analýzou. Kuňák (2004) zjistil v lesních půdách v okolí Českého Těšína výrazně vyšší obsahy, a to v rozmezí 20 – 40 mg/kg. Tyto obsahy se shodují s průměrnou hodnotou stanovenou pro lesní půdy z Ostrého a Javorového.

Suchara a Sucharová (2004) uvádí pro lesní půdy v ČR koncentraci Ni v rozmezí od 16 do 20 mg/kg. V případě lesních půd z oblasti Ostrého a Javorového byly hodnoty nepatrně nižší, než je celostátní průměr. Stejní autoři uvádí pro koncentraci Zn v lesních půdách ČR hodnoty v rozmezí od 75 do 100 mg/kg, hodnoty nad 120 mg/kg považují za zvýšené. Kuňák (2004) uvádí pro lesní půdy z oblasti Českého Těšína hodnoty výrazně vyšší, v rozmezí 200 – 400 mg/kg. V tomto intervalu se vyskytují i koncentrace Zn v lesních půdách z oblasti Ostrého a Javorového.

Suchara a Sucharová (2004) uvádí pro obsahy Cu v lesních půdách České republiky hodnoty v rozmezí 20 – 30 mg/kg, hodnoty nad 40 mg považují za zvýšené. Kuňák (2004) uvádí obsahy Cu v lesních půdách v okolí Českého Těšína v rozmezí 20 – 50 mg/kg, výjimečně byla zjištěna hodnota 80 mg/kg. Průměrné obsahy okolo 50 mg/kg byly zjištěny i pro lesní půdy z oblasti Ostrého a Javorového.

Tabulka č. 12: Základní statistické parametry majoritních prvků v lesních půdách z oblasti Ostrého a Javorového

Oblast		Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Fe
		(%)							
Javorový	Průměr	2,83	18,87	0,38	0,22	1,23	0,14	0,32	3,68
	Odchylka	0,61	4,68	0,04	0,09	0,34	0,14	0,07	1,31
	Medián	2,88	19,58	0,37	0,22	1,31	0,08	0,31	3,42
Ostrý	Průměr	2,82	14,78	0,39	0,26	1,10	0,27	0,34	3,94
	Odchylka	0,93	5,15	0,04	0,10	0,39	0,44	0,11	0,90
	Medián	2,61	15,37	0,39	0,26	1,10	0,15	0,34	3,84
Sáňka									0,60

Tabulka č. 13: Základní statistické parametry pro obsah minoritních prvků v lesních půdách z oblasti Javorového a Ostrého

Oblast		Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Sn	Sb	Pb
		(mg/kg)										
Javorový	Průměr	53,6	473,2	14,4	48,8	284,3	41,2	2,0	12,8	15,5	20,4	252,3
	Odchylka	19,5	164,0	6,3	21,9	132,6	12,9	1,2	2,9	1,5	3,8	116,7
	Medián	54,0	434,0	14,5	49,0	263,0	41,0	2,0	15,0	15,5	20,5	254,0
Ostrý	Průměr	51,7	654,8	14,2	56,9	353,8	48,1	2,1	16,0	21,7	22,2	334,0
	Odchylka	20,8	502,7	5,8	25,7	124,5	17,8	1,2	5,2	4,9	5,0	225,0
	Medián	49,5	503,5	15,0	56,0	364,5	49,0	2,0	14,0	21,0	21,0	314,5
Sáňka		14	1500		6	40			0,45			45
Kuňák		39	1013	20	33	200	14		1,4			195

Z uvedených výsledků vyplývá, že humusový horizont lesních půd v oblasti Ostrého je charakteristický vyššími obsahy stopových prvků Mn, Cu, Sn, Zn, As a Pb než půdy v oblasti Javorového. Mírný rozdíl byl zjištěn i u železa (0,4% medián).

Závislost mezi jednotlivými prvky z hlediska posouzení zdrojů kontaminace byla sledována pomocí Pearsonovy korelační matice (lognormální charakter dat). Výsledky koeficientu korelace jsou uvedeny v tabulkách č. 14 - 16. Z tabulek je zřejmé, že v humusovém horizontu lesních půd z oblasti Ostrého bylo prokázáno větší množství statisticky významných závislostí mezi prvky. Fe vykazuje statisticky významný koeficient

korelace pro všechny sledované prvky s výjimkou Ni. Pro oblast Ostrého platí závislost mezi Fe x Mn-Pb-Zn-As-Cu-Cr. Pro oblast Javorového byla zjištěna statisticky významná závislost pouze mezi Fe x Zn-Cu-Cr. Nižší hodnoty koeficientu korelace pro oblast Javorového pravděpodobně souvisí se způsobem transportu Fe-částic, na které jsou vázány další rizikové prvky.

Tabulka č. 14: Pearsonova korelační matrice, červeně jsou vyznačeny statisticky významné koeficienty korelace (hladině významnosti 0,05) – **Javorový**

	As	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
As	1,00							
Cu	0,65	1,00						
Cr	-0,14	0,46	1,00					
Fe	0,35	0,70	0,56	1,00				
Mn	-0,18	0,24	0,34	0,43	1,00			
Ni	-0,21	0,43	0,74	0,43	0,46	1,00		
Pb	0,90	0,74	0,03	0,37	-0,18	-0,11	1,00	
Zn	0,45	0,74	0,50	0,86	0,61	0,37	0,51	1,00

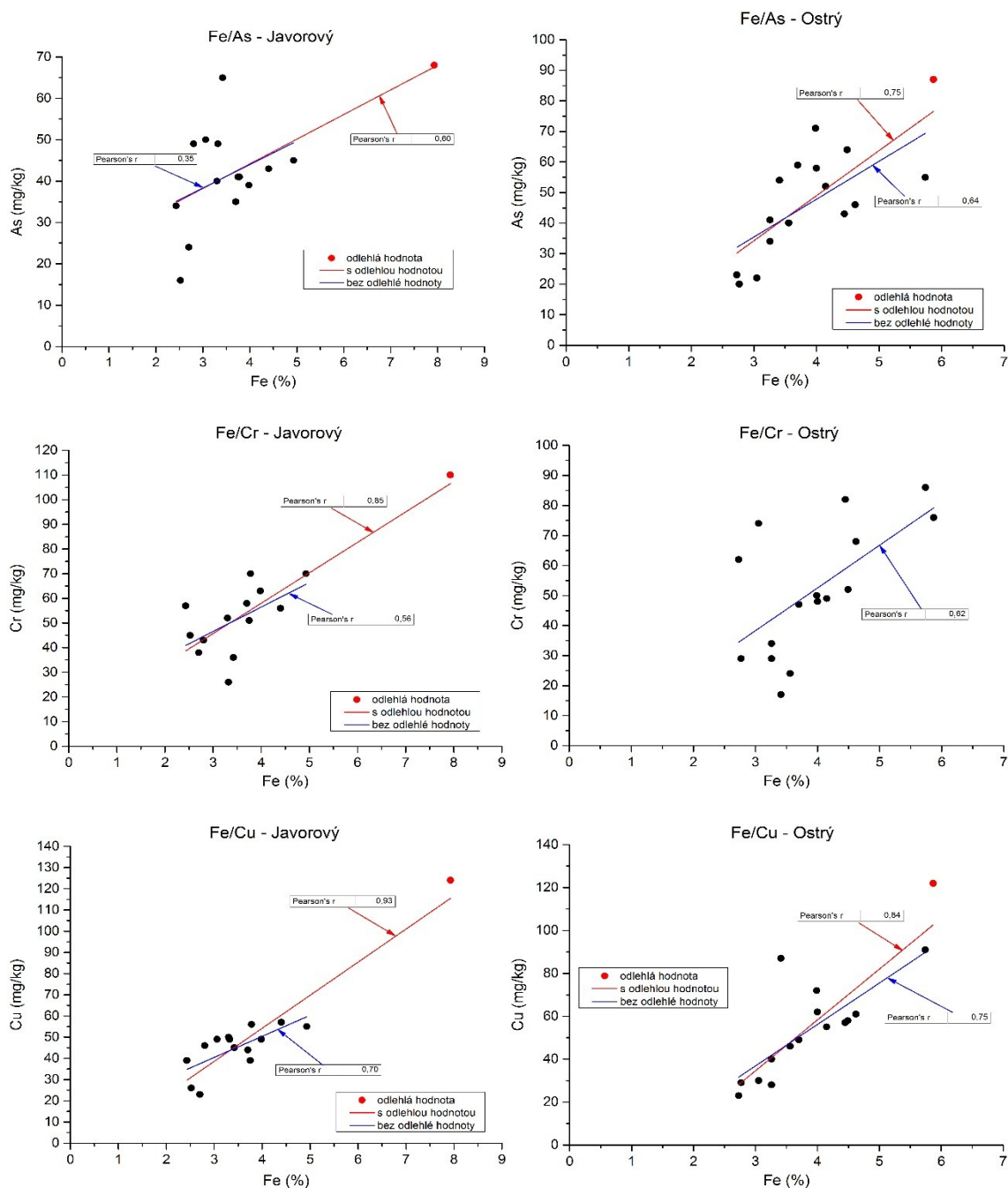
Tabulka č. 15: Pearsonova korelační matrice, červeně jsou vyznačeny statisticky významné koeficienty korelace (hladině významnosti 0,05) – **Ostrý**

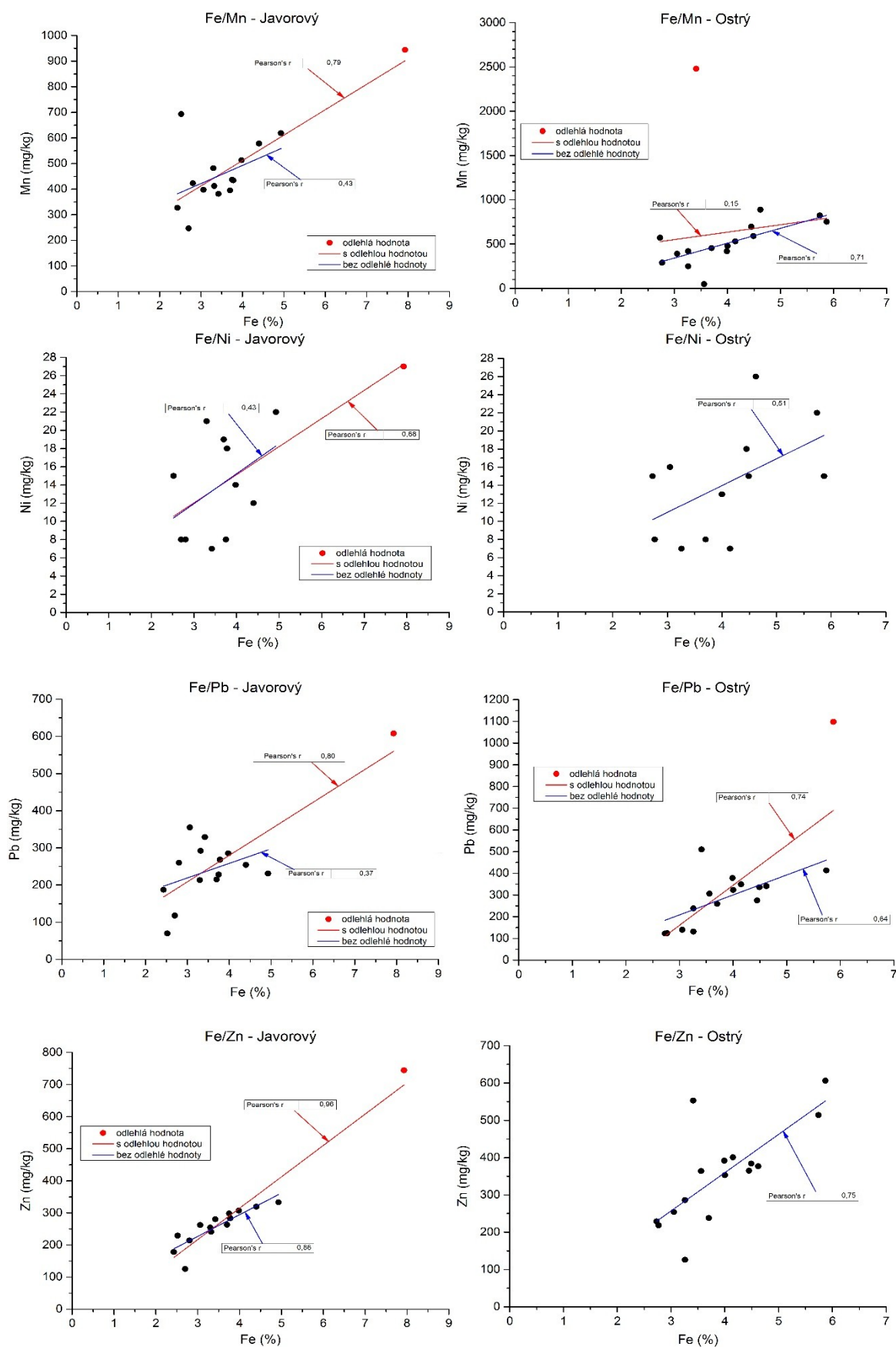
	As	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
As	1,00							
Cu	0,77	1,00						
Cr	0,02	0,16	1,00					
Fe	0,64	0,75	0,62	1,00				
Mn	0,29	0,55	0,81	0,71	1,00			
Ni	0,12	0,52	0,78	0,51	0,83	1,00		
Pb	0,79	0,95	-0,04	0,64	0,44	0,44	1,00	
Zn	0,60	0,92	0,26	0,75	0,58	0,49	0,94	1,00

Tabulka č. 16: Pearsonova korelační matrice, červeně jsou vyznačeny statisticky významné koeficienty korelace (hladině významnosti 0,05) – **celý soubor**

	As	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
As	1,00							
Cu	0,79	1,00						
Cr	0,02	0,21	1,00					
Fe	0,59	0,73	0,58	1,00				
Mn	0,21	0,49	0,70	0,64	1,00			
Ni	0,09	0,48	0,75	0,47	0,68	1,00		
Pb	0,84	0,90	-0,03	0,57	0,27	0,23	1,00	
Zn	0,61	0,88	0,28	0,77	0,59	0,42	0,83	1,00

Závislost mezi obsahy prvků a železa je dokumentována na následujícím obrázku. V obrázku jsou zachyceny závislosti s odlehlým vzorkem a se skrytým vyloučením odlehlého vzorku. Odlehlý vzorek nemohl být ze souboru vyloučen, zvýšené obsahy všech kovů prokázaly, že vzorek do souboru patří.





Obrázek 14: Závislost mezi Fe a dalšími kovy pro lesní půdy z oblasti Javorového a Ostrého

7 ZÁVĚR

Řešením bakalářské práce jsem prokázal, že:

- Hodnoty magnetické susceptibility humusového horizontu lesních půd v oblasti Javorového a Ostrého jsou výrazně vyšší než průměrné hodnoty zjištěné pro oblast Beskyd (průměrná hodnota pro oblast Ostrého je $7,68 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$ a pro Javorový 7,04, pro oblast Beskyd 4,64).
- Magnetická susceptibilita poskytuje celou řadu statisticky významných lineárních korelací s Fe, Zn, Pb, Cu a As s výjimkou Ni. Z korelační závislosti vyplývá, že obsahy kovů v lesních půdách jsou vázány na přítomnost Fe-oxidických částic (magnetitu, maghemitu a spinelu).
- Imisní zátěž na Ostrém je větší než v oblasti Javorového, což dokumentují mírně zvýšené hodnoty obsahy kovů v humusovém horizontu.
- Z porovnání obsahu kovů v lesních půdách v rámci celé ČR, kterou prováděli Suchara a Sucharová (2004) a Kuňák (2004) pro lesní půdy v oblasti Českého Těšína vyplývá, že obsahy v oblasti Javorového a Ostrého mají: Ni v souladu s celostátními obsahy v lesních půdách v rámci ČR. Dvojnásobně až trojnásobně jsou vyšší obsahy: As, Cu, Cr, Mn a Zn. Pětinásobně jsou vyšší obsahy Pb a až dvanáctinásobně jsou vyšší obsahy Cd.
- V humusovém horizontu lesních půd v oblasti Javorového a Ostrého se kovy dle klesající koncentrace vyskytují v následujícím pořadí: $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cd}$.
- Byla prokázána závislost zvyšujícího se obsahu kovů v závislosti na nadmořské výšce, u Javorového do 800 m n.m., u Ostrého až na vrchol.
- Závislost mezi obsahem kovů a magnetickou susceptibilitou může sloužit pro odhad imisní zátěže (na základě definovaných rovnic) bez vlastní chemické analýzy.

Doporučení

Z výsledku až dvanáctinásobného obsahu kadmia ve vzorcích lesních půd v oblasti Ostrého a Javorového na celostátním průměru obsahu Cd v lesních půdách vyplývá, že výsledky získané metodou RTG-fluorescence je nutné verifikovat jinou analytickou metodou (po celkovém rozkladu v kyselinách, stanovení AAS).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ALLOWAY, Brian J. *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. 3rd ed. New York: Springer, 2013, 613 s. ISBN 978-940-0744-707.

BALATKA, B. *Zeměpisný lexikon ČR*. Vyd. II. Editor Jaromír Demek, Peter Mackovčín. Brno: AOPK ČR, 2006, 580 s. ISBN 80-860-6499-9.

BRTNICKÝ, M. *Degradace půdy v České republice*. Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2012, 91 s. ISBN 978-80-87361-20-7.

CERVI, E. C., DA COSTA, A. C. S., & DE SOUZA Junior, I. G. *Magnetic susceptibility and the spatial variability of heavy metals in soils developed on basalt*. Journal of Applied Geophysics, 111, 2014, Pages: 377-383.

ČSN EN ISO 10390: 2005, *Kvalita půdy – Stanovení pH*, červenec 2011.

ČSN ISO 19258:2005, *Kvalita půdy – Návod pro stanovení hodnot pozadí*. In: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, leden 2012.

ČSN ISO 11464: 2006, *Kvalita půdy – Úprava vzorků pro fyzikálně-chemické rozborů*, červen 2011.

DEMEK, J. et al. *Hory a nížiny*. Brno: AOPK ČR, 2006. 543 s. ISBN 80-86064-99-9.

HAUPTMAN, I., KUKAL, Z., POŠMOURNÝ, K. *Půda v České republice*. MŽP ČR, Finidr Český Těšín, 2009. 1-255, ISBN 80-903482-4-6.

HERNANDEZ, L., PROBST, A., PROBST J.L., ULRICH E.: *Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination*. Sci Total Environ. 312, 2003, Pages: 195-219.

KAFKA Z., PUNČOCHÁŘOVÁ J. *Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita*. Chemické listy 96, 2002, str. 611-617. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2002_07_05.pdf

MATÝSEK, D., RACLAVSKÁ, H. *Magnetická susceptibilita lesních půd – indikátor dlouhodobé lokální imisní zátěže (Magnetic susceptibility of forest soils – indicator of long-term emission load)*. Ochrana ovzduší, Volume: 13, No 2, 200, Pages: 7 – 13.

MATYSEK, D., RACLAVSKA, H., RACLAVSKY, K. *Correlation between magnetic susceptibility and heavy metal concentrations in forest soils of the eastern Czech Republic*. Journal of Environmental and Engineering Geophysics Volume: 13, 2008, Pages: 13-26

QUITT, E. *Klimatické oblasti Československa*. Academia, Studia Geographica 16, GÚ ČSAV v Brně, 1971. 73 s.

ROTTER, P., V. ŠRÁMEK, R. VÁCHA, L. BORŮVKA, V. FADRHOŇSOVÁ, M. SÁŇKA, O. DRÁBEK a L. VORTELOVÁ. *Rizikové prvky v lesních půdách: Review*. [online]. Dostupné z: <http://www.vulhm.cz/sites/File/ZLV/fulltext/283.pdf>

ŠOMŠÁK L., KROMKA M., ANTONI J., ŽARNOVIČAN H.: *Heavy metals in soils of secondary spruce forests in the Slovenské rudohorie Mountains, and their accumulation by some trees*. Ekológia (Bratislava), Volume: 26, No. 4, 2007, Pages: 438–445

TOLASZ, R. *Atlas podnebí Česka*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

TOMÁŠEK, M. *Půdy České republiky*. 4. vyd. Praha: Česká geologická služba, 2007, 67 s., [41] s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-7075-688-1.

WAWRECZKA, H. *Třinec a okolí v proměnách času*. Český Těšín: Wart - Henryk Wawreczka, 1997

INTERNETOVÉ STRÁNKY

Air Silesia. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné

z: <http://www.trinecko.cz/zpaz/ovzdusi/prilohy/Projekt%20Air%20Silesia.pdf>

Azbest. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné

z: http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody_mereni/puda/Azbest.pdf

Azbest: U.S. EPA. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/120>

EMISE A IMISE. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné

z: http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/emise_3.html

FIELD PORTABLE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETRY FOR THE DETERMINATION OF ELEMENTAL CONCENTRATIONS IN SOIL AND SEDIMENT. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné

z: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/6200.pdf>

Informace o kvalitě ovzduší v ČR. Český hydrometeorologický ústav [online]. 2014 [cit. 2015-04-28]. Dostupné

z: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_TTRO_CZ.html

Informace o kvalitě ovzduší v ČR. Český hydrometeorologický ústav [online]. 2014 [cit. 2015-04-28]. Dostupné

z: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_TTRK_CZ.html

ISKO: Větrné růžice na imisních stanicích. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné

z: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2010_enh/cze/pollution_locality/loc_TTRK_CZ.html

ISKO: Větrné růžice na imisních stanicích. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné

z: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2010_enh/cze/pollution_wrose/wrose_TTRKA_CZ.html

ISKOlimity. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné

z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html

Koncepce ochrany přírody a krajiny Libereckého kraje. [online]. [cit. 2015-04-28].

Dostupné z: http://www.kraj-lbc.cz/public/kopk_a_241_2_2fc038822e.pdf

KVALITA OVZDUŠÍ Z HLEDISKA OCHRANY LIDSKÉHO ZDRAVÍ. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1531>

Lysohorská hornatina: Ropická rozsocha. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/geomorfologie/lysohorska-hornatina/#ropicka_rozsocha

Město Třinec: Základní informace. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://www.trinecko.cz/mesto/?id=zakladni_informace

Měření čistoty ovzduší a meteorologie pro Městský úřad města Třinec [online]. 2015 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://mail.envitech.sk/phptrinec/?id=3>

Portál ČHMÚ: Imisní monitoring. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://www.chmi.cz/portal/dt?menu=JSPTabContainer/P5_0_O_nas/P5_3_Organizacni_struktura/P5_3_11_Ovzdusi/P5_3_11_7_Imis_monit/P5_3_11_7_2_Odb_cinnost&last=false

RICHTER, R. ŽIVINNÝ REŽIM PŮD [online]. 2004 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy

Royal Society of Chemistry: Periodic Table [online]. 2015 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.rsc.org/periodic-table/>

Ruční spektrometr a ruční analyzátor kovů DELTA. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://www.bas.cz/innov-x-systems/rucni_analyzator_kovu_delta_premium.php

Těžké kovy. [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_HIO/kapitoly/Skodliviny/Tezkovyuvod.htm

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Mapa Třince a okolí (www.google.cz/maps)</i>	2
<i>Obrázek 2: Část mapy klimatologických podmínek (TOLASZ, 2007)</i>	3
<i>Obrázek 3: Část mapy geomorfologických jednotek ČR (DEMEK, 2006)</i>	5
<i>Obrázek 4: Část půdní mapy ČR v měřítku 1:1 000 000 (TOMÁŠEK, 2007)</i>	7
<i>Obrázek 5: Růžice částic PM₁₀ na Třinecku</i>	11
<i>Obrázek 6: Oblast odběru vzorků – Malý Javorový (www.mapy.cz)</i>	20
<i>Obrázek 7: Oblast odběru vzorků – Ostrý (www.mapy.cz)</i>	20
<i>Obrázek 8: Měření pH pomocí pH metru</i>	21
<i>Obrázek 9: Závislost mezi magnetickou susceptibilitou a Fe, As, Pb, Cu, Zn a Ni</i>	27
<i>Obrázek 10: Charakter magnetické částice ze spalování fosilních paliv včetně spektra (SEM-EDAX), autor Dr.Ing.D.Matysek</i>	28
<i>Obrázek 11: Mapa izolinií plošné distribuce Pb v humusovém horizontu lesních půd na území Beskyd (MATYSEK et al. 2008)</i>	29
<i>Obrázek 12: Krabicové grafy vyjadřující závislost obsahu Pb a As na nadmořské výšce (MATYSEK et al. 2008)</i>	29
<i>Obrázek 13: Koncentrace vybraných prvků v závislosti na nadmořské výšce</i>	30-32
<i>Obrázek 14: Závislost mezi Fe a dalšími kovy pro lesní půdy z oblasti Javorového a Ostrého</i>	36-37

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Charakteristika klimatických oblastí C5, C6, C7 a MW1 (TOLASZ, 2007)	4
Tabulka č. 2: Hodnoty větrné růžice – Třinec Kosmos (www.chmi.cz)	5
Tabulka č. 3: Hodnoty větrné růžice – Třinec Kanada (www.chmi.cz)	5
Tabulka č. 4: Průměrné roční imise na území Třince za rok 2013 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (ČHMÚ-ISKO) ...	10
Tabulka č. 5: Imisní limity pro ochranu ekosystémů a vegetace (www.chmi.cz)	10
Tabulka č. 6: Imisní limity pro ochranu zdraví a maximální počet jejich překročení (www.chmi.cz)	10
Tabulka č. 7: Hodnoty pH/ H_2O a pH/KCl	22
Tabulka č. 8: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy zkoumaných prvků	24
Tabulka č. 9: Výsledky RTG-fluorescenční analýzy ostatních zkoumaných prvků	26
Tabulka č. 10: Hmotnostní a Objemová magnetická susceptibilita	26
Tabulka č. 11: Hodnoty magnetické susceptibility ($\times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$) pro Beskydy a oblast Javorového a Ostrého	28
Tabulka č. 12: Základní statistické parametry majoritních prvků v lesních půdách z oblasti Ostrého a Javorového	34
Tabulka č. 13: Základní statistické parametry pro obsah minoritních prvků v lesních půdách z oblasti Javorového a Ostrého	34
Tabulka č. 14: Pearsonova korelační matrice, červeně jsou vyznačeny statisticky významné koeficienty korelace (hladině významnosti 0,05) – <i>Javorový</i>	35
Tabulka č. 15: Pearsonova korelační matrice, červeně jsou vyznačeny statisticky významné koeficienty korelace (hladině významnosti 0,05) – <i>Ostrý</i>	35
Tabulka č. 16: Pearsonova korelační matrice, červeně jsou vyznačeny statisticky významné koeficienty korelace (hladině významnosti 0,05) – <i>celý soubor</i>	35